

ISSN 0370 - 4009 - N° 487 - Agosto 2019



Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 131, N° 2 - ISSN 0716 - 2340

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

Miembro de la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI) Miembro de la Federación Mundial de Organización de Ingenieros (FMOI) (WFEO) Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

JUNTA EJECUTIVA

Presidente

Luis Nario Matus

Primer Vicepresidente

Carlos Mercado Herreros

Segundo Vicepresidente

Ricardo Nicolau del Roure

Tesorero

Juan Carlos Barros Monge

Protesorero

Iván Álvarez Valdés

Secretaria

Ximena Vargas Mesa

Prosecretaria

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

DIRECTORIO 2019

Iván Álvarez Valdés

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Sally Bendersky Schachner

Juan E. Cannobbio Salas

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Alex Chechilnitzky Zwicky

Raúl Demangel Castro

Álvaro Fischer Abeliuk

Andrés Fuentes Torres

Javier García Monge

Roberto Fuenzalida González

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Carlos Mercado Herreros Germán Millán Valdés

Octiman William Value

Rodrigo Muñoz Pereira Ricardo Nanjarí Román

Luis Nario Matus

Ricardo Nicolau del Roure G.

Humberto Peña Torrealba

Miguel Ropert Dokmanovic

Manuel Ruz Jorquera

Mauricio Sarrazin Arellano

Alejandro Steiner Tichauer

Ximena Vargas Mesa

Luis Valenzuela Palomo

René Vásquez Canales

Jorge Yutronic Fernández

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA

DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA

ANTISÍSMICA, ACHISINA.

Presidente: Rodolfo Saragoni H.

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA

DE INGENIERÍA SANITARIA

Y AMBIENTAL - CAPÍTULO

CHILENO, AIDIS.

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA

HIDRÁULICA, SOCHID.

Presidente: José Vargas B.

SOCIEDAD CHILENA

DE GEOTECNIA, SOCHIGE.

Presidenta: Daniela Pollak A.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA

DE TRANSPORTE, SOCHITRAN.

Presidente: Juan Carlos Herrera M.

PMI SANTIAGO CHILE CHAPTER.

Presidente: Alfonso Barraza San M.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN

EN INGENIERÍA, SOCHEDI.

Presidente: Mario Letelier S.

COMISIONES DEL INSTITUTO

Aguas.

Presidente: Humberto Peña T.

Electromovilidad, Oportunidades

para la Ingeniería Chilena.

Presidente: Javier García M.

Ingeniería y Ética.

Presidente: Elías Arze C.

Ingenieros en la Historia Presente.

Presidente: Ricardo Nanjarí R.

Ingeniería y Ciencias de la Vida.

Presidente: Alejandro Steiner T.

Prospectivas de la Ingeniería.

Presidente: Jorge Yutronic F.

Visión del Negocio del Cobre. **Presidente**: Andrés Fuentes T.

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Bruno Behn Theune

Sergio Bitar Chacra

Mateo Budinich Diez

Juan Enrique Castro Cannobbio

Jorge Cauas Lama

Joaquín Cordua Sommer

Luis Court Moock

Alex Chechilnitzky Zwicky

Raúl Espinosa Wellmann

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Tristán Gálvez Escuti

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Agustín León Tapia

Jorge López Bain

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

Rodolfo Saragoni Huerta

Mauricio Sarrazin Arellano

Raúl Uribe Sawada

Luis Valenzuela Palomo

Solano Vega Vischi

Hans Weber Münnich

Andrés Weintraub Pohorille

Jorge Yutronic Fernández

ÍNDICE



Nuestra portada

Palabras de la Ministra del Medio Ambiente, Sra. Carolina Schmidt: "Los ojos del mundo se posarán en Chile, a fines de este año, luego que se eligiera –por unanimidad– a nuestro país como organizador de la próxima reunión de Conferencia de las Partes (COP) de Naciones Unidas".

REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA N° 487, agosto de 2019

Dirección: San Martín N° 352, Santiago Teléfonos: 22696 8647 - 22698 4028 - 22672 6997

www.iing.cl • e-mail: iing@iing.cl

DIRECTOR

Raúl Uribe S.

CONSEJO EDITORIAL

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

REPRESENTANTE LEGAL

Luis Nario Matus

Dirección: San Martín Nº 352, Santiago

SECRETARIO GENERAL

Carlos Gauthier T.

SECRETARÍA

Patricia Núñez G.

DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

versión | productora gráfica SpA

EDITORIAL.	Pag. 2
"2019: UN AÑO DE CAMBIOS HACIA LA COP25". Conferencia de la Ministra del Medio Ambiente, Sra. Carolina Schmidt.	Pág. 3
"EL LITIO. LA INDUSTRIA QUE VIENE Y LOS EFECTOS DE LA ELECTROMOVILIDAD". Conferencia de Sr. Jaime Alée, Presidente de ESK Consulting.	Pág. 17
"MIRADAS DE LARGO PLAZO PARA EL DESARROLLO DE CHILE". Conferencia del Ex Presidente de la República, Sr. Ricardo Lagos Escobar.	Pág. 33
ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS. • Sr. Guillermo González Rees. • Sr. Guillermo Noguera Larraín. Comisión de Ingenieros en la Historia Presente; Presidente: Ricardo Nanjarí R.	Pág. 42
IN MEMORIAM. Ray W. Clough (1920 -2016), uno de los ingenieros más destacados del mundo. Por: Edward L. Wilson (Profesor Emérito de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de California, Berkeley). Prefacio por: Tomás Guendelman.	Pág. 47

EDITORIAL

Las conferencias mensuales del Instituto de Ingenieros de Chile que se realizan en el Club de la Unión, constituyen eventos de alta convocatoria, con destacados conferencistas que tratan temas relevantes en el ámbito nacional y mundial.

En el segundo trimestre del presente año, se contó con la participación de la Ministra del Medio Ambiente, Sra. Carolina Schmidt, quien expuso el tema: "2019: Un Año de Cambios hacia la COP25". También con el Sr. Jaime Alée, quien se refirió al Litio, como "La Industria que viene y los efectos de la Electromovilidad"; y finalmente, con el Ex-Presidente de la República, don Ricardo Lagos Escobar, quien expuso el tema: "Miradas de largo plazo para el desarrollo de Chile".

La Sra. Schmidt dijo: "Los ojos del mundo se posarán en Chile, a fines de este año, luego que se eligiera –por unanimidad– a nuestro país como organizador de la próxima reunión de Conferencia de las Partes (COP) de Naciones Unidas".

COP25 será la cumbre sobre el cambio climático más importante del mundo, en que se reunirán representantes de 197 países, con el objetivo de impulsar políticas activas de cuidado y protección del planeta. Describió luego los ejes en los que se apoyarán las tareas de su Ministerio, que se resumen en: Modernización de la Institucionalidad Ambiental para el Desarrollo Sustentable; Transformación de nuestro modelo de desarrollo a una economía circular; y acciones concretas para mitigar los efectos del Cambio Climático.

El Sr. Alée, por su parte, se pregunta: "¿Qué tan importante es el Litio para Chile en términos económicos?". Plantea que las exportaciones actuales de litio alcanzan la suma de 75 mil millones de dólares al año, de escasa relevancia frente al monto global de 1400 millones de dólares, y que nunca va a ser mayor que lo que vendemos en productos del mar, o a las exportaciones de vino. Sin embargo, las expectativas más promisorias provendrán de la gran demanda de baterías y pilas, relacionadas fundamentalmente con el mundo de la electromovilidad. En 2040, dice, los autos eléctricos van a ser más que los de combustión interna, y que ya en 2026, el mercado de electromovilidad será de 200.000 millones de dólares, cifra que, en 2040, podría alcanzar del orden de 900.000 millones de dólares, afectando a toda la industria nacional y mundial relacionada con el mercado de la movilidad.

En la siguiente conferencia, el señor Lagos señaló que hablar de infraestructura y de ingeniería en el siglo XIX implicaba construir soberanía de un país, para lo cual eran necesarias reglas que, sin embargo, dejaron de existir, haciendo surgir desafíos cada vez más complejos. La guerra comercial que presenciamos en este instante, está provocando un enfrentamiento tecnológico bajo la pregunta: "¿cuál será la tecnología dominante?".

Señaló, además, que el escenario internacional es muy complejo desde el punto de vista de los entendimientos político-institucionales; que el tremendo desarrollo tecnológico y científico de los últimos años ha cambiado la geografía del mundo; y que la política es horizontal y no vertical, lo que la hace más compleja aún, pero más amplia y transparente.

Postula que el planteamiento central debería ser: "¿Dónde y cómo podemos consensuar una mirada común de los temas estructurales?, ¿podemos recuperar un ritmo importante en el ámbito de la infraestructura?". Concluye haciendo referencia a su libro "En vez del pesimismo" (2017), en el que detalla su propuesta de diez puntos que piensa harían posible recuperar las confianzas y retomar el crecimiento del país.

En la presente edición de la Revista Chilena de Ingeniería, se agregan las entrevistas a los destacados ingenieros chilenos señores Guillermo Noguera Larraín y Guillermo González Rees, y una colaboración del Profesor Emérito de la Universidad de California, Berkeley, Dr. Edward L. Wilson, en memoria de su distinguido profesor –como también de muchos ingenieros chilenos– el Dr. Ray W. Clough.

"2019: UN AÑO DE CAMBIOS HACIA LA COP25"

Conferencia de la Sra. Carolina Schmidt, Ministra del Medio Ambiente



Sra. Carolina Schmidt, Ministra del Medio Ambiente.

Ante una concurrida asistencia de personalidades del ámbito público y privado, se realizó en el Club de la Unión el pasado 25 de marzo de 2019, la conferencia de la Ministra del Medio Ambiente, Sra. Carolina Schmidt, quien expuso sobre el tema: "2019: Un Año de Cambios hacia la COP25".

La Sra. Schmidt es Ingeniera Comercial de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Diplomada en Marketing en la Universidad de Nueva York.

Fue Ministra del Servicio Nacional de la Mujer y Ministra de Educación durante el primer Gobierno del Presidente Sebastián Piñera. En la primera cartera, impulsó el Postnatal de 6 meses, la Ley de Femicidio y la Ley de Tuición Compartida de los Hijos. Como Ministra de Educación, logró sacar adelante la Reforma Constitucional que establece el Acceso Universal y Gratuito a la Educación Parvularia para los niños desde los 2 años de edad, y la que estableció el Kínder como curso obligatorio.

Ha sido Directora y Gerenta General de diversas Compañías. Hasta su nombramiento como Ministra, se desempeñaba como Gerenta General de Medios del Grupo COPESA. También participó en la Dirección del Teatro del Lago de Frutillar y fue Directora del Teatro Municipal de Santiago, Consejera del Centro de Políticas Públicas de la Universidad Católica y Consejera de Comunidad Mujer.

Ministra Sra. Carolina Schmidt.

—Primero, quiero agradecer al Instituto la invitación y la oportunidad de compartir con ustedes. Efectivamente tengo un lazo en el corazón con los ingenieros de este país, por temas familiares muy importantes, y me encanta también ver sentados en esta sala a tantas personas que han hecho tanto por el bien de nuestro país y, solamente por querer cooperar con un grano de arena en ese objetivo, es que hoy me toca liderar el Ministerio del Medio Ambiente, que es quizá uno de los ministerios que más transformaciones está realizando, porque el mundo está cambiando.

Ustedes lo saben: está cambiando rápidamente y nuestra concepción del cuidado, y de la relación que tenemos con nuestro entorno y con el medio ambiente, está haciéndolo también.

Hoy somos conscientes del efecto que ha generado en el planeta la manera en que nos hemos comportado durante tantos y tantos años. Y somos conscientes también de que, si no cambiamos nuestra manera de relacionarnos, nuestro planeta entrará en una crisis. Y por eso es tan relevante para mí tener la posibilidad de participar en el Gobierno del Presidente Piñera, liderando esta cartera para justamente empujar estas transformaciones que necesitamos hacer, en la nueva manera en que entendemos el desarrollo.

Haré una breve presentación, que iniciaré con una frase que creo que básicamente demuestra este nuevo concepto: NO EXISTE VERDADERO DESARROLLO SI ESTE NO ES SUSTENTABLE. Esa mirada que planteaba que desarrollo económico y cuidado del medio ambiente eran dos caminos que se bifurcan, hoy día entendemos que si nosotros queremos tener un desarrollo que sea perdurable en el tiempo, este tiene que ser sustentable, si no, lo que hacemos es consumir nuestro propio capital natural.

Quizá uno de los ejemplos más claros de esto es lo que sucede en la isla donde se encuentran Haití y República Dominicana. La mitad de la isla, teniendo los dos países el mismo capital natural, uno de ellos arrasó con todo ese capital natural y tiene a su población en una situación de pobreza y sin posibilidad de un mejor desarrollo. La otra mitad de la isla decidió llevar una política de desarrollo sustentable y eso ha permitido, justamente a la población de ese país, poder mirar al futuro con mayor esperanza. Es clave por lo tanto que nosotros entendamos el desarrollo de esta última forma, si queremos entregar calidad de vida a las futuras generaciones.

¿Cuáles son los ejes del Ministerio del Medio Ambiente?

La Modernización de la Institucionalidad Ambiental para el Desarrollo Sustentable, que justamente nos permita generar ese tipo de desarrollo. El cómo tenemos una institucionalidad que no dependa tan solo de la buena voluntad de las partes, sino que incentive justamente esta política de desarrollo que cuide el medio ambiente y por lo tanto nos haga mirar al futuro con la posibilidad de seguir avanzando.

La Transformación de nuestro modelo de desarrollo a una economía circular, donde no solamente tomemos los recursos y después los descartemos y generemos residuos, sino que ver cómo mediante de tecnología de la innovación seamos capaces de mantener los recursos naturales circulando en la economía para generar valor; donde la mirada a futuro es ser capaz de generar cero desechos, donde todo, desde el diseño de los productos que hagamos y la tecnología que apliquemos, esté pensándose siempre en esta circularidad y desecho cero. Para eso es fundamental la educación, la innovación y claramente descontaminar lo que ya existe para poder lograr esta circularidad.

Y el tercero, es el Cambio Climático, que es uno de los desafíos más importantes que tiene hoy la humanidad, que enfrenta el planeta completo y del cual tenemos que hacernos cargo, participando todos en el cuidado y protección del medio ambiente y la vida al aire libre.

Esos son los tres focos del trabajo del Ministerio.

Cuando hablamos de Institucionalidad Ambiental (Figura 1).

1. MODERNIZACIÓN INSTITUCIONALIDAD AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE

1- INSTITUCIONALIDAD AMBIENTAL

- Modernización SEIA
- Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas
- Delitos Ambientales
- Nuevas normativas y Actualizaciones: Norma horaria So2, DS90 que regula las descarga de riles a aguas superficiales

Figura 1

¿De qué estamos hablando y qué está en el programa de Gobierno del Presidente Piñera? La modernización de nuestro Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental. Esto

es claramente, y la mayoría lo conoce, un Sistema que nos permite evaluar los proyectos y generar los permisos de calificación ambiental. Sin embargo, es un proceso que requiere modernizarse y mejorarse.

Primero, tenemos que ser capaces de generar un Sistema que cuide, que garantice el cuidado del medio ambiente y que entregue certezas a los participantes, cosa que hoy día claramente no tenemos. En el tema de los permisos, tenemos que ser capaces de dar un peso más relevante a las variables técnicas en la evaluación y donde las variables políticas tengan una concordancia que permita cuidar el medio ambiente y, a la vez, entregar certezas a todos los participantes.

Tenemos el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y quizá este es el corazón de la institucionalidad ambiental que nos falta en nuestro país. El año 2010 nace la Institucionalidad Ambiental con la creación del Ministerio de Medio Ambiente, que es un Ministerio nuevo, antes no existía.

La creación de este Ministerio, cambió la mirada en lo que debíamos trabajar, desde una mirada más sectorial, donde cada uno se hacía cargo de lo que implicaba su sector, a esta otra mirada que entendía el medio ambiente y los ecosistemas como un tema integral.

Dentro de esta institucionalidad ambiental del año 2010, se crea el Ministerio, que desarrolla políticas públicas medioambientales en Chile y que está basado en tres servicios que son los que le permiten ejercer en el territorio las acciones medioambientales.

- 1. El Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).
- La Superintendencia de Medio Ambiente, que lo que hace es fiscalizar los permisos que entrega el Servicio de Evaluación De Impacto Ambiental.
- 3. El Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas, quizá el que va más al corazón de lo que tiene que hacer el Ministerio del Medio Ambiente que es conservar, preservar y cuidar nuestra biodiversidad, que es la riqueza de este capital natural que tenemos.

Sin embargo, ese Servicio en Chile todavía no existe a pesar de que quedó establecido en la Ley que un año después de creación del Ministerio de Medio Ambiente íbamos a contar con él. Estamos en el año 2019 y todavía esto no es así. El Presidente Piñera ha puesto como una prioridad sacar adelante el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas que justamente nos permitirá trabajar y dar una mirada ecosistémica a todo el trabajo que se realiza para el cuidado del medio ambiente.

Actualmente hay más de 5 Ministerios y 27 Instituciones que tienen dividido este trabajo. Tenemos situaciones que son inéditas como, por ejemplo, un área protegida donde los límites los pone el ser humano y no la naturaleza. Un albatros anida en tierra, pero va a comer en el mar. Resulta que nosotros tenemos una institución que está a cargo de las áreas marinas protegidas, otra institución en la misma área, pero que está a cargo de las áreas terrestres, otra institución que está a cargo de los recursos de las áreas marinas, otra está a cargo del agua, etc. Es realmente imposible poder tener una política que nos permita preservar y cuidar esas áreas protegidas eco-sistémicamente.

Después, está el Proyecto de Delitos Ambientales; este proyecto, como lo señalaba el Presidente Piñera, tiene un claro objetivo y es que no existe mejor política ambiental, que aquella que se encarga de prevenir el daño ambiental. Debiéramos siempre mirar y prevenir, que es mejor que reparar. Por lo tanto, lo que hace este Proyecto es establecer para todas las personas jurídicas que tengan la obligación de tener Planes de Prevención en sus organizaciones, sobre cualquier riesgo ambiental que puedan ocasionar. Creo que esto es un tema fundamental en cómo vamos modificando la manera en que trabajamos y nos relacionamos con el medio ambiente. Por lo tanto, sacarlo adelante es fundamental, este es un anhelo muy profundo desde hace mucho tiempo y creemos que justamente va en dirección al objetivo de prevenir y obviamente desalentar cualquier conducta que pueda producir un daño ambiental.

Y aquí es importante ser capaces de diferenciar lo que es el impacto ambiental, de lo que es el daño ambiental. Porque todas las actividades humanas producen impacto ambiental. Aquí estamos respirando y producimos impacto ambiental, estamos comiendo y producimos impacto ambiental, cualquier cosa que hace el ser humano produce impacto ambiental. Pero no es lo mismo que daño ambiental.

Y por eso es muy relevante tener una institucionalidad que nos permita dar certeza, que cuando se produzca un daño ambiental, exista un órgano independiente que sancione y que las instituciones estén obligadas a tener mecanismos de prevención. Solo así podremos dar un salto importante en la relación con el entorno y lo que entendemos por un desarrollo sustentable.

Y después tenemos nuevas normativas y actualizaciones de normas que se han ido quedando atrás.

Primero, estamos sacando por primera vez en Chile una Norma Horaria de dióxido de azufre, algo muy importante en un país minero como el que nosotros tenemos para poder relacionarse con el entorno. Tenemos también la actualización del Decreto Supremo 90, que es el que regula las descargas de RILES en aguas superficiales en el mar, en los ríos y lagos, algo tremendamente importante; sabemos que el agua es justamente uno de nuestros recursos más escasos y por lo tanto tenemos que tener cuidado.

Segundo eje (Figura 2), acelerar el paso de transformación de Chile hacia una economía circular.

TRANSFORMACIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR, EDUCACIÓN Y DESCONTAMINACIÓN AMBIENTAL

- Implementación de la ley Rep
- Combate al plástico de un solo uso (Bolsas plásticas, bombillas, etc...)
- Certificación de Circularidad
- · Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos
- Planes de descontaminación Ambiental: Concón Quintero y Puchuncavi, Lago Villarica, Calama, Los Ángeles, Coyhaique, etc...

Figura 2

Para eso la educación y la descontaminación ambiental son temas muy relevantes.

En cuanto a la implementación de la Ley REP (Responsabilidad Extendida del Productor), Chile cuenta con ella y lo que necesitamos es implementarla, por eso estamos estableciendo no solamente el reglamento, sino que las metas de reciclaje, donde justamente los mismos que producen estos productos prioritarios que se han establecido, son los encargados de gestionar la recuperación y la revalorización de estos productos para mantenerlos circulando en la economía.

Ya publicamos el anteproyecto del Decreto de Neumáticos, estamos ahora en el mes de mayo publicando Envases y Embalajes, que va a cubrir tanto los envases plásticos, como los de vidrio, lata, tetrapak, que son necesarios de mantener en la economía circulante y no generar nueva extracción de estos productos, ni residuos de estos productos.

Junto con esto tenemos el combate directo al plástico de un solo uso. El plástico es un elemento fantástico, sin embargo, su uso indiscriminado tiene consecuencias muy importantes en el planeta. Aquellos que han tenido la posibilidad de viajar, han podido darse cuenta cómo las playas del mundo están

siendo contaminadas por el plástico. Vemos nuestras ballenas, nuestras aves marinas, muriendo por la gran cantidad de plástico que están tragando. Pero nosotros mismos, las personas mediante el consumo de distintos productos del mar, también estamos tragando microplásticos por la descomposición de este producto, que se demora en promedio más de 200 años en degradarse. Son temáticas claves en el mundo de hoy. Chile ha dado una señal muy clara con la eliminación de la entrega gratuita de bolsas plásticas en el comercio, para combatir el uso indiscriminado del plástico y generar conciencia de cómo tiene que ser esta transición y que depende de todos nosotros cambiar nuestros hábitos.

También hicimos la campaña "Chao Bombillas" y quiero agradecer al sector privado por la participación de esta campaña, en donde todos los mall de Chile adscribieron para eliminar de todos los *Food Court* de los malls el uso de las bombillas, también en el aeropuerto y los estadios. La adscripción masiva que tuvieron es una muestra importante de cómo la ciudadanía está entendiendo este problema.

En cuanto a las bolsas plásticas, todos nosotros vamos a comprar y sabemos lo incómodo que es salir de un supermercado con los tomates en la mano o las leches o lo que uno vaya a comprar. Sin embargo, a pesar de esa incomodidad, es la Ley que tuvo mayor aprobación ciudadana: más del 80% de las personas declararon que ésta es la mejor política pública que se generó el año 2018, e incluso, recibió hasta el premio a la "Mejor Política Pública del Año".

La Ley de Bolsas Plásticas genera incomodidad desde el punto de vista de la vida diaria, sin embargo, la conciencia de las personas de que tenemos que cambiar es fuertísima. Y eso nuevamente es un llamado a todos los que tenemos responsabilidad en establecer políticas al interior de las empresas del Estado, de cómo ir transformando nuestros procesos para que sean más sustentables para el cuidado del medio ambiente.

En cuanto a la Certificación de Circularidad, estamos entregando información a la ciudadanía para que pueda premiar y preferir aquellos productos y servicios que están en la economía circular. Hemos trabajado en conjunto con la SOFOFA y con el Sistema de Gestión de la Recolección y la Revalorización de los Productos. Se etiqueta la circularidad con la información a los consumidores para ir cambiando nuestros hábitos de consumo.

También este año, nos ha pedido el Presidente Piñera tener la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos. Esto es bien clave, porque el mundo partió reciclando, separando el plástico, el vidrio, etc. Pero hoy día mirado hacia atrás a la mayoría de

los países, si yo tuviera que repetir esto de nuevo, partiría separando lo seco de lo mojado. Lo orgánico, que es todo lo mojado, es el 50% de la bolsa de basura. Cuando se mezcla con lo seco, se producen los percolados y toda la contaminación que se produce en la basura. Si nosotros fuéramos capaces de separar lo orgánico de lo inorgánico y procesar eso aparte, solucionaríamos un tema de basura que es muy importante y es lo más relevante en términos de residuos domiciliarios.

Así que esto en conjunto con la Ley REP son 2 grandes transformaciones para el tratamiento de los residuos y el traspaso a la economía circular de nuestro país.

Y, por último, los Planes de Descontaminación Ambiental. No es una novedad, nosotros como país tenemos una ubicación geográfica que es particularmente mala para la ventilación atmosférica. La mayoría de las ciudades de nuestro país se ubican entre dos cadenas de montañas, la Cordillera de Los Andes y la Cordillera de la Costa. Lo que hace su situación de ventilación muy compleja. Situación que se agrava en el sur de nuestro país por las temperaturas y donde mayoritariamente se utiliza la leña, y en particular leña mojada como principal elemento de calefactor domiciliario.

Eso genera unos niveles de contaminación gigantescos.

El año 2011 Chile dio un salto muy importante al establecer la obligatoriedad de medir en línea toda la concentración atmosférica en todas las ciudades con más de 100 mil habitantes, permitiendo que Chile sea realmente un símbolo de la capacidad de tener una medición para gestionar su condición de mala ventilación atmosférica. Contamos con planes de descontaminación en muchas de las importantes ciudades al sur de nuestro país. Tenemos que seguir avanzando y con más fuerza en este aspecto porque tenemos una situación grave en muchas ciudades del país, como Coyhaique que sufre día a día con la mayor contaminación atmosférica a nivel mundial concentrada en nuestro país.

Tercer pilar, Cambio Climático y participación de todos en el cuidado y protección del medio ambiente y la vida al aire libre (Figura 3).

La Ley Marco Cambio Climático está para presentarse en los próximos meses en el Congreso. Creemos que es un tema fundamental y que permite: Primero, entregar las facultades y las responsabilidades a los distintos órganos del Estado para poder generar la acción climática. Hoy día dependemos de la buena voluntad de todas las partes. Y si llega una autoridad que considere que esto no es importante, no tenemos una institucionalidad sólida que nos permita generar la acción

3. CAMBIO CLIMÁTICO Y PARTICIPACIÓN DE TODOS EN EL CUIDADO Y PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y LA VIDA AL AIRE LIBRE

- · Ley Marco Cambio Climático
- · Ley de Protección de Humedales Urbanos
- Plan nacional de protección de humedales
- · Planes de gestión de áreas protegidas Marinas
- · Planes de gestión de especies en peligro de extinción
- · Protección de ecosistemas de baja representatividad
- Fondo Público privado de protección ambiental

Figura 3

climática. Por eso esto es tan relevante y ha estado en proceso de participación ciudadana para presentar el proyecto en los próximos meses.

Segundo, un elemento clave de proteger es el agua y, por lo tanto, estamos sacando adelante dos temáticas muy relevantes. El Plan Nacional de Protección de Humedales que ya lanzó el Presidente Sebastián Piñera y el Proyecto de Ley de Protección de Humedales Urbanos. Son ecosistemas fundamentales para poder conservar, preservar el agua y también elementos mitigadores del cambio climático y conservadores de ecosistema y de nuestra biodiversidad. Son tremendamente importantes, por lo tanto, la posibilidad de tenerlos protegidos es muy relevante.

Un cuarto tema son los Planes de Gestión de Áreas Marinas protegidas. Chile cuenta con el 43% de su área marina protegida. Esto es realmente un símbolo en el mundo. Chile es reconocido por esto y es un tremendo avance que se haya hecho en nuestro país. Sin embargo, estas áreas no cuentan con planes de gestión. Y mientras no los tengamos son un poco, áreas de papel, un poco frágiles, están protegidas, pero sino podemos gestionar sustentablemente, no podemos darle protección que se requiere, por lo tanto, el Presidente nos ha pedido avanzar en la determinación de todos los planes de gestión de las áreas marinas, así como planes de Gestión de Especies en Peligro de Extinción, el Plan Últimos Refugios.

La Protección de Ecosistemas de Baja Representatividad en nuestro país y el Fondo Público Privado de Protección Ambiental. Esto es clave, si bien constitucionalmente el Estado de Chile es el garante del cuidado del medio ambiente, necesita de la participación de los privados para poder cumplir con este deber. Y para esto necesitamos a los privados con incentivos para hacerlo. Hoy día nuestra legislación castiga y dificulta

muchas veces esos aportes de los privados a la protección de las áreas protegidas. Hay un interés no solamente en Chile, sino que en mundo entero por cooperar y participar en la gestión sustentable de las áreas protegidas de nuestro país y su protección; claramente porque son ecosistemas únicos en el mundo y poder tener su cuidado y su gestión sustentable es clave para el desarrollo sustentable de nuestro país.

El Presidente Piñera ha señalado que Chile debería liderar la transformación hacia el desarrollo sustentable. Chile a pesar de ser un país muy pequeño se ha dado cuenta de que el desarrollo económico y el cuidado, la gestión del medio ambiente y la acción climática no son dos caminos que se bifurcan sino que, por el contrario, se fortalecen.

Chile ha ido trasformando, por sus características geográficas, su matriz de generación energética hacia una matriz limpia, que no solamente es más sustentable, sino que es más económica, que es clave y también más segura. Y esa transición a nosotros nos da una capacidad de empujar este mensaje de transformación. Chile fue elegido el año 2018 por Bloomberg, como el mejor país del mundo para el desarrollo y la inversión en energía limpia. Tenemos el Arabia Saudita de la energía solar en el desierto de Atacama y somos uno de los grandes generadores, de capacidad generadora de energías limpias sustentables, tanto por las pendientes de nuestros ríos, como nuestra energía y radiación solar. Por lo tanto, aquí tenemos un liderazgo en que podemos empujar al mundo en esta trasformación, hacia un desarrollo verdaderamente sustentable.

Vamos a ser sede de la principal cumbre mundial de uno de los problemas que hoy tiene mayor relevancia para la humanidad que es, cómo nos hacemos cargo del calentamiento global. Esto que partió hace treinta años y que muchos pensaron que era una idea o una teoría, hoy día tiene sustento científico el impacto que produce el calentamiento global; es claramente indesmentible y la única posibilidad que nosotros tenemos, no solamente de mitigar su efecto, sino que de adaptarnos a este cambio, es mediante una política pública decidida, con participación de todos los actores y sobre todo con un conocimiento ciudadano que apoye este tipo de medidas. Conversábamos hace poco rato, cómo el hecho de que la ciudadanía se haga parte de esta trasformación es tan relevante. Porque si no, pueden suceder situaciones en que la misma ciudadanía se sienta afectada por las medidas que se tomen en pro de proteger a la misma ciudadanía sobre los efectos del cambio climático.

Y hoy mediante la posibilidad de tener la COP25, el evento más importante en la acción climática en el mundo en Chile,

se nos da esta oportunidad de involucrar a la ciudadanía en las medidas que necesitamos tomar para hacer una gestión climática efectiva (Figura 4).



Figura 4

¿Qué es la COP? Es la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas y funciona de la siguiente manera. Es un Tratado que establece obligaciones básicas a todas las Partes para combatir el cambio climático. Se firmó en la Cumbre de la Tierra en el año 92 y entró en vigor el año 94, año en que en Chile adhiere, por lo tanto, este año 2019 cumple 25 años desde que Chile adhirió a ella.

Tener la COP25 en nuestro país, es algo bien simbólico acerca de la trasformación que tenemos que hacer en el mundo hacia el desarrollo sustentable. Cuenta con la participación de 197 países, a los que se les denomina Las Partes. Y el objetivo es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero para que impida que la acción del hombre tenga consecuencias peligrosas sobre el sistema general del planeta.

Es claramente un tema relevante señalar que el tiempo es importante, tenemos que movernos con agilidad. El Informe que dio el Panel Científico el IPCC demostró que las contribuciones que los países estaban haciendo para avanzar en cambio climático no eran suficientes y lo que necesitamos es desacoplar la economía de la producción de estos gases de efectos invernadero. Es decir que un mayor desarrollo, un mayor crecimiento, una mayor movilidad que implica un mayor desarrollo económico de nuestros países, no vaya de la mano con un crecimiento en la emisión de estos gases, sino que vayamos desacoplándonos y finalmente separándonos completamente en la transformación de nuestros modelos productivos y de consumo.

Tiene 5 principios rectores (Figura 5).



Figura 5

Primero, la equidad y responsabilidad común de todos los países, pero diferenciadas. Se entiende que cada país tiene características distintas, que enfrenta sus propias realidades, por lo tanto, cada país soberanamente determina cómo se compromete y cómo gestiona la acción climática para avanzar en este desacople.

Segundo, tiene plena consideración de las necesidades y circunstancias de los países en desarrollo, se reconoce la diferencia, en que hay países que tienen mayor responsabilidad en lo que ha sido la emisión de gases efecto invernadero y por lo tanto, también una mayor capacidad de hacerse cargo de ayudar a los chicos a subirse en la acción climática con las medidas de adaptación.

Tercero, establece principios precautorios.

Cuarto, el derecho al desarrollo sostenible y esto es esencial, aquí lo que se pretende es generar desarrollo para los países mediante un Sistema más limpio.

Y, por último, cooperar para promover un Sistema Económico Abierto y propicio para todos.

La COP (Figura 6).

La Conferencia de las Partes, es el órgano de decisión supremo de la Convención Marco de las Naciones Unidas. Se reúne anualmente para revisar el avance y la implementación de la convención y desarrollar los instrumentos para avanzar en esta materia.



Figura 6

La primera fue el año 1995 en Berlín; la última en Katowice Polonia, en diciembre pasado y la Presidencia COP va rotando en 5 continentes que quedaron establecidos.

Este año 2019 le tocaba a la región América Latina y el Caribe la sede de la COP. El país sede asume la presidencia de la COP.

¿Y qué ocurre en esta conferencia?, básicamente se reúnen los 197 países durante 2 semanas, los equipos negociadores examinan una cantidad de temas muy relevantes que vamos a ver después. Mecanismos de transparencia, de adaptación, de mitigación, de involucramiento de los privados etc. Y al lado de las negociaciones que llevan los gobiernos de los 197 estados parte, están todas las participaciones de las ONG y del mundo privado en todos aquellos mecanismos de innovación, tecnologías, que nos permiten acelerar la transformación hacia el desarrollo sostenible.

¿Cuáles fueron los resultados de la COP 24? (Figura 6).

Se logró sacar adelante el objetivo de esta COP que era adoptar el Libro de Reglas para la implementación del Acuerdo de París. Este estableció que todos los países se comprometieron soberanamente a determinar cuáles iban a ser sus contribuciones para mitigar el cambio climático y como toda Ley necesita un reglamento para llevarse a cabo. Recién en el año 2020 se implementó el acuerdo y por eso es tan relevante el 2019, porque nos entrega a nosotros la responsabilidad de ver cómo nos vamos a mover en la implementación para avanzar más rápido en las medidas que siguen a París.

Los temas que comentaba se discuten y la verdad es que Chile ha demostrado tener y creer en un modelo de desarrollo como una Política de Estado, que permita un desarrollo limpio y sustentable; es un actor muy potente afuera. De hecho, por primera vez se invita a un Ministro chileno a liderar las negociaciones mundiales de la COP 24; es un reconocimiento a la labor de Chile.

Los temas a discutir en la COP los definen Naciones Unidas. Pero uno de los temas que vamos a tener que definir es cómo va a operar el mercado de carbono en el mundo.

El artículo 6 de del acuerdo de París es el único que incluye la participación de los privados en la acción climática y hoy tenemos consenso que sin una participación más activa de los privados es imposible avanzar con mayor ambición en la acción climática. Por lo tanto, ver los mecanismos que generan los incentivos para la participación de los privados es primordial. Creo que esta es una tremenda oportunidad para participar, ya que esto no puede ser una responsabilidad de los Estados. Si queremos marchar con mayor ambición, el sector privado tiene que involucrarse y es un actor fundamental.

Así como quien negociará la definición de plazos comunes para la implementación de las contribuciones de los países, la agenda de trabajo para eliminar duplicaciones, etc.

La Conferencia de Las Partes COP25, como les señalaba correspondía América Latina. Brasil, a último minuto decidió bajarse como de la sede de la COP y esto abrió una incertidumbre muy grande en términos de qué si América Latina daba la señal de que salía o se restaba de la acción climática, podría tener efectos en el mundo.

Y tal como se señaló públicamente en Polonia, solamente la convicción y el apoyo político del más alto nivel es capaz de liderar un tema de este tipo y el hecho de que Chile se presentara y se pusiera de pie para decir: nosotros tomamos la sede de la COP, es algo que solamente enaltece y ratifica el rol de Chile como un país de transformación, que lidera el camino hacia un sistema de desarrollo sustentable.

Chile como sede de la COP (Figura 7).

Todo lo que hicimos fue, la verdad, bastante intenso.

¿Cómo funciona esto una vez que se determina por acuerdo de todas las partes? Esto es lo más complejo de la COP, ya que no se toman las decisiones por votación, se toman por acuerdo de todas las partes. Lo que lo hace muy complejo.

Lo que hay que entender de tener la presidencia de la COP, es que todos los países que son miembros necesitan, dadas sus características y realidades distintas, una convocatoria para sumarse y buscar la manera de que ellos puedan ser parte de la

CHILE COMO SEDE COP25

- Durante la COP24:
- Se bajan las candidaturas de Jamaica, Barbados y Guatemala
- Se conversa con Costa Rica para ver la real capacidad de realización de una COP
- Costa Rica informa que no podrá ser sede COP, si de la PreCOP
- · Chile podría ser la sede de la COP25

Figura 7

acción climática. Si no entendemos eso y tratamos de condenar a todo el mundo, no vamos a lograr ir adelante en los acuerdos que son tan importantes para poder avanzar en esta materia.

La fecha de la COP la define este Bureau, que es el directorio de la COP y el país sede tiene presentar dos alternativas de fecha y el Bureau decide.

Chile presentó en el mes de enero sus dos fechas, diciembre y enero de 2019, manifestando claramente su preferencia por el mes de enero, por las características propias de la ciudad, que está bastante más descongestionada en el mes de enero, además, dado que en esto Chile contaba con menos tiempo para prepararlo, un mes más siempre ayuda. Desgraciadamente hay países africanos que tienen sus fiestas religiosas durante el mes de enero y eso les imposibilitaba venir. Por lo tanto, Chile accedió a tener la reunión en la primera fecha, de las dos alternativas que propuso para poder contar con participación de todos, que es importante nuevamente para lograr avances. Y esa es la mentalidad que tiene que regirnos durante toda la presidencia de la COP. Cómo generamos las condiciones para sumar a todos los actores, y no cómo buscamos las alternativas para dejarlos abajo. Y este es el espíritu de la COP.

¿Cuál va a ser la temática de la COP? Nuevamente la definen las Naciones Unidas; el Secretario General ha sido claro en señalar que llegó el momento de la ambición y la implementación. Y por eso van a ser temáticas fundamentales en la COP25 (Figura 8).

Se habla por lo tanto de ambición, de adaptación, de finanzas. Cómo logramos llevar las finanzas, porque se requieren recursos también para la mitigación y para la adaptación y cómo involucramos a los privados, que es el tema de mercado en la acción climática.

DESAFÍO DE LA PRESIDENCIA DE LA COP PARA CHILE

- Mundial:
- · Liderar para alcanzar acuerdos de mayor ambición en la acción climática.
- * Acelerar el paso de la transformación a un desarrollo sustentable.
- · Local:
- Hacer de la COP25 un encuentro nacional ciudadano por la acción climática, sumando más actores.
- Institucionalidad Ambiental para la acción climática y el desarrollo sustentable
- Aumentar la acción climática de chile, acelerando los procesos de transformación.

Figura 8

¿Qué temas vamos a destacar durante la CO, como país? Para que ustedes sepan, afuera la gente habla de la COP azul. Eso es algo que está como instalado en la retina. "Chile, ah Chile va a ser una COP azul" tenemos cuatro mil kilómetros de costa y tenemos las áreas marinas protegidas más importantes del mundo y sin duda que eso es un símbolo que nos representa como país. Pero también en este concepto de la COP azul es que tenemos los cielos más adecuados, con la mejor radiación para las energías renovables, para generar condiciones en nuestros vientos, los ríos con la mayor pendiente para generar también energía limpia. Tenemos el tremendo símbolo de lo que es el desarrollo sustentable que es el avance que Chile ha dado en electro-movilidad. Santiago es la ciudad del mundo que más buses eléctricos tiene, aparte de China. Eso afuera no se puede creer y claramente habla de algo que va directamente ligado con el desarrollo que mejora los niveles de movilidad de la gente, a medida que los países se desarrollan y cómo nos trasformamos, esa movilidad a una movilidad limpia.

El símbolo de Chile cuidando los mares y los mares del mundo con las bolsas plásticas también es reconocido mundialmente y por lo tanto, refuerza este concepto del Chile de la COP azul. La economía circular y todo el proceso de transformación también.

Otro tema que el Presidente también nos ha pedido destacar es cómo cuidamos y avanzamos en la protección de nuestros ecosistemas y particularmente nuestros bosques, que son uno de los grandes mitigadores del cambio climático.

¿A quiénes pretendemos convocar? Les decía antes que esta es una oportunidad única para trasmitir a la ciudadanía la importancia de avanzar en este proceso de transformación. Este es un proceso en que ningún país del mundo que puede señalarse como que ya lo hizo y que lo está haciendo perfectamente. Justamente es un proceso de transformación que requiere de la participación de todos y, por lo tanto, tomar la COP como una oportunidad para involucrar a la ciudadanía en las necesidades que tenemos de transformación es muy importante.

Y para poder hacerlo de manera exitosa el Presidente nos ha pedido que sea de la mano de la ciencia, por lo tanto, el mundo científico es el que tiene que estar directamente involucrado en la COP. Para que todas las medidas de acción climática se basen en datos científicos y no en las opiniones de unos y otros, si no que podamos sustentar y mantener en el tiempo. La alianza público-privada es un actor fundamental; no podemos pensar en dejar el sector privado afuera. Tenemos que ver la manera que el sector privado participe en este proceso de transformación en economía y en la acción climática.

¿Cuáles son los desafíos de la presidencia de la COP para Chile? (Figuras 8 y 9).

DESAFÍOS COP25

- · Rol de articulador de consensos
- · Necesidad reforzar equipos para cubrir todas las áreas.
- Trabajo en muy en conjunto con Secretariado UNFCCC.
- Importancia de abarcar tanto la dimensión multilateral como relevar la agenda nacional para la acción climática:
- Adaptación, Electromovilidad, Descarbonización, entre otros.

Figura 9

Este rol articulador de consensos, créanme que no es nada fácil, suficientemente difícil es ir al Congreso y tratar de conseguir los votos, como para ahora pensar que hay que tener consenso de 197 países para avanzar en las temáticas. Es realmente complejo y un desafío mayor para nuestro país. Necesitamos reforzar equipos, estamos trabajando en conjunto con la Secretaria General de las Naciones Unidas para Cambio Climático, por la importancia de abordar la dimensión multilateral.

Bueno, nos los quiero latear, pero agrego que Chile tiene esta tremenda oportunidad de liderar uno de los procesos de transformación más importantes en el mundo hoy. Y ese es un tremendo desafío, pero también es una tremenda oportunidad para Chile. Y tenemos que hacerlo juntos para avanzar en esta materia. Y localmente hacer de esto un foco

de transformación ciudadana hacia estos procesos y poder mejorar y tener una institucionalidad ambiental que pueda responder a las necesidades que tenemos para aumentar la acción climática en Chile.

Tenemos que ser capaces de definir cuál va a ser nuestra ruta de neutralidad, cuándo vamos a alcanzarla como país, cuáles van a ser las políticas públicas, para que tanto los distintos sectores a nivel nacional como también de los gobiernos regionales hasta los gobiernos locales van a tener las políticas de acción climática para sacar adelante esta gran trasformación que necesitamos como país.

Fechas de los eventos (Figura 10).

EVENTO COP25

- COP25 tiene duración de dos semanas, entre el Lunes 2 y viernes 13 de Diciembre.
- · 8 de Diciembre (domingo) se considera día libre.
- Segunda semana negociación se considera de alto nivel donde asisten Ministros y también se espera que los días 11 y 12 asistan Presidentes (alrededor de 30).
- La semana previa, entre el 26 de Noviembre y 1 de diciembre se desarrollan sesiones pre-sesionales de algunos grupos negociadores como son Grupo africano, Grupo de países menos desarrollados, Islas, etc.

Figura 10

Entre el 2 de diciembre hasta 13 de diciembre, hay un día libre, aquí entramos en más detalle. La semana previa son las pre-sesionales, son equipos negociadores de algunos grupos que se reúnen, el grupo africano se reúne antes. Pero la COP parte el día 2 de diciembre.

Por último, Chile tiene esa tremenda oportunidad para avanzar y liderar la mitigación y la adaptación al cambio climático que son elementos claves y quizá hoy día lo de mayor necesidad en el mundo entero para alcanzar el desarrollo sustentable y esto sólo lo podemos hacer con el aporte de todos.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Al término de la exposición, la Ministra respondió consultas de los asistentes. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

Sr. Andrei Tchernitchin.

—Soy el Presidente del Departamento de Medio Ambiente del Colegio Médico. y profesor titular de la Universidad de Chile.

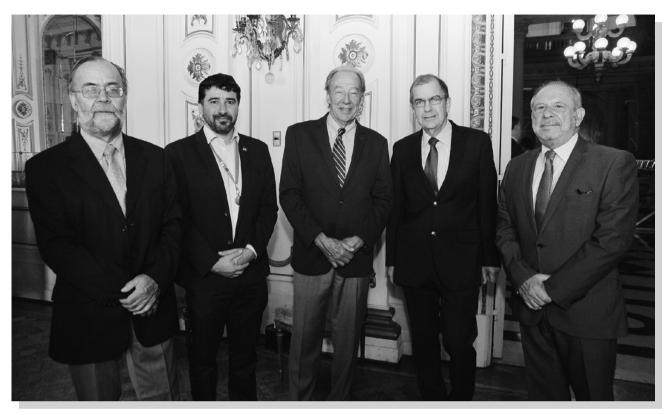
Tengo un comentario y una pregunta. Es sumamente cierto que es importante mostrar un liderazgo en la COP25 y tenemos muy buenas posibilidades por el Desierto de Atacama que tiene mucha radiación solar muy intensa, por lo tanto, podemos seguir aumentando la producción de energía fotovoltaica y otras no contaminantes, pero para que eso sirva para el cambio climático es necesario que estas vayan reemplazando las energías antiguas y todavía no he visto que se hayan clausurado algunas termoeléctricas que son bastante contaminantes. Yo creo que en eso se puede avanzar bastante.

Lo otro, es que a mí me choca que no se haya firmado el Convenio de Escazú, porque creo que eso nos baja de nivel a nosotros y ojalá se pudiera firmar este convenio antes del evento de fin de año. Gracias.

Ministra Schmidt.

—Varias temáticas aquí. Primero, compartimos absolutamente que es una señal muy relevante donde tenemos que avanzar, que es en la descarbonización de nuestra matriz energética. Para eso se formó la Mesa de Descarbonización que debiera tener sus resultados próximamente. Hay que señalar que Chile tiene una particular dificultad en esta materia, porque nosotros tuvimos muchas Centrales que se construyeron en nuestro país a carbón hace pocos años atrás, cuando Argentina cortó la entrega de suministro de gas natural a Chile. Cuando pasó eso, ustedes no sé si se acuerdan, pero hablábamos del gran apagón de Chile, ahí se tomó la decisión por parte del Estado de Chile, que para evitar este apagón se abrieron muchas Centrales a carbón. Esto hace que este proceso sea más difícil que si tuviéramos solamente las Centrales antiguas, yo creo que las Centrales antiguas van a salir, nos gustaría que pudiéramos salir más rápido. Algo en que estamos trabajando fuertemente con el sector privado para avanzar en esa descarbonización y esperamos buenas noticias al respecto.

Segundo, respecto del Acuerdo de Escazú, dos temáticas muy importantes. Una de las gracias que tiene el Acuerdo de París y la contribución nacionalmente determinada por los países para avanzar en la acción climática, es que reconoce las distintas características y capacidades para que los países soberanamente determinen sus caminos para ejercer la acción climática.



Sres. Ricardo Palma, Patricio Toledo, Ricardo Nicolau del Roure, Mauricio Sarrazin y Juan Carlos Latorre.

Sobre el Acuerdo de Escazú, el Presidente Piñera ha sido bastante claro en señalar que ha decidido postergar su firma, justamente porque el Acuerdo de Escazú permite que el Estado de Chile pueda ser llevado a tribunales internacionales por distintos actores, estableciendo el Acuerdo de Escazú un trato preferencial para los países sin costa. Nosotros nos encontramos actualmente en un juicio por el Río Silala con nuestro país vecino que tiene esas características y, por lo tanto, dado que su primer objetivo es preservar la soberanía de Chile, el Presidente ha señalado que ha postergado su firma.

Sr. Felipe Sabando.

—Soy Ministro Titular del Segundo Tribunal Ambiental con asiento en Santiago de Chile.

Para mi primera pregunta quisiera hacer una precisión y es señalar que la institucionalidad ambiental se completa con la Ley 20.700, que crea precisamente a los Tribunales Ambientales y por ello que me interesa conocer primero si la Ley marco para el cambio climático o bien las iniciativas que está desarrollando este gobierno en torno a la materia incluyen cambios específicos

respecto del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental; el modelo de fiscalización que desarrolla la Superintendencia del Medio Ambiente o bien la acciones que toca conocer a los Tribunales Ambientales.

Y, en segundo lugar, relativo a lo que usted mencionaba de la incorporación progresiva permanente de la ciencia dentro de los aspectos ambientales y particularmente del cambio climático, me gustaría saber cómo ve usted el hecho de que la Ley, por ejemplo, de las bolsas plásticas, tan icónicas por su popularidad, cuesta muchísimo encontrar información que a nosotros los ingenieros nos llama muchísimo la atención. Tenemos una debilidad por conocer acerca de los números, pero no podremos llegar a saber fácilmente cual es el balance de materia que sustenta un ahorro definitivo plástico global para Chile o siquiera si esta medida va a ocasionar una reducción o un aumento de las emisiones de gas invernadero. Entonces tomando eso como ejemplo, como la incorporación de esa clase de criterios, ya de nivel técnico más avanzado, para la publicación de las Leyes en nuestro país, lo cual pudiera ser un análogo a lo que es el informe que realiza el Ministerio de Hacienda, cuando debe informar sobre proyectos legislativos.



Sres. Cristian Hermansen, Carlos Andreani, Mario Pavon, Elías Arze y Roberto Fuenzalida.

Ministra Schmidt.

—Primero tengo que felicitar al integrante de nuestro Tribunal Ambiental que como muy bien ha señalado es parte fundamental de nuestra institucionalidad. Y que tiene mucho que ver también cómo Chile ha ido avanzando en esta materia.

Nosotros en relación con la Ley Marco de Cambio Climático, lo que hace o lo que pretende hacer es establecer tanto facultades como responsabilidades a nivel sectorial en la acción climática como también a nivel vertical, es decir, desde las autoridades nacionales a las autoridades regionales, locales y comunales. Eso para que quede todo ensamblado con responsabilidad y deberes de cada uno. Dentro de ese contexto toca a toda la institucionalidad que he señalado. Sin ir más lejos, sin embargo, estamos discutiendo la reforma al Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental y también incorporar variables de cambio climático en la necesidad de evaluar de los proyectos. Eso es algo bien complejo, porque como ustedes bien saben, la evaluación de los proyectos se hace con información histórica, por ejemplo, de pluviosidad, todo de distintas características. Y hacerlo con información futura es bastante complejo porque no hay certezas de cual

será exactamente esa información, no es algo que esté 100% determinado y para hacer la evaluación se necesitan informes. Sin embargo, una de las temáticas que estamos viendo por lo cual en la COP25 también es una oportunidad importante, es establecer los mapas de vulnerabilidad de Chile. Y en esos mapas de vulnerabilidad que tengan incidencia en los planes de ordenamiento territorial de nuestro país y que eso quede incorporado en la evaluación de impacto ambiental. Creo que tenemos que lograr un engranaje de ese tipo que nos permita ir incorporando en la evaluación este tipo de variables, pero hacerlo de una manera que pueda entregar mayor certeza y conocimiento a todos los involucrados.

Sra. Vilma Pérez.

—Soy de la empresa Arcadis, que trabaja en soluciones de ingeniería de medio ambiente; hoy día tenemos la fortuna de estar trabajando con el Ministerio de Medio Ambiente de Chile y de Canadá en el proyecto de Reciclo Orgánico y en ese sentido estamos muy contentos de poder colaborar con una de las líneas de mitigación que como usted bien señalaba, tiene que ver con la importancia que tiene el Reciclaje de orgánicos en el



Ministra Schmidt en compañía de los Sres. Luis Nario, Alfredo Schmidt y Juan Pablo Schmidt.

país. Pero quisiera preguntarle, qué otras acciones o qué otras líneas específicas se está pensando fortalecer en el ámbito de la mitigación, porque hay que avanzar también en la adaptación. La adaptación ya no es preventiva por lo tanto la mitigación es fundamental.

Ministra Schmidt.

—Es muy relevante entender que la mitigación y la adaptación son dos variables muy importantes. Particularmente en Chile donde la emisión de gases de efecto invernadero que hace nuestro país constituya menos de 0,25% de las emisiones globales, por lo tanto, lo que nosotros hacemos es pequeño en términos de impacto en lo que va a pasar en el cambio climático. Y por eso es tan importante no bajarse, porque si nosotros lo hiciéramos y se baja todo el mundo, la verdad es que no vamos a tener un resultado positivo al respecto.

Por otra parte, la adaptación en Chile es muy importante, y así como la mitigación es global, la adaptación es muy local. Depende de la realidad de cada una de las distintas comunas, incluso ciudades y pueblos de nuestro país. Y en

ese aspecto señalar dos cosas, Chile cumple 7 de los nueve criterios de vulnerabilidad ante el cambio climático. Para ir así, en resumen, los cumplimos todos menos ser un país sin costa, pero sí todo el resto. El tener costas bajas, tenemos la mayoría de las costas bajas, con el cambio climático aumenta el nivel del mar, tenemos las marejadas, las inundaciones etc. Tenemos las ciudades al borde de montañas, todas las lluvias que aumentarán en cantidad e intensidad, pero en períodos cortos. La baja de la temperatura en la nieve hace que vengan los aluviones etc. Se afecta toda la zona que está al pie de la montaña. Sin ir más lejos este verano, creo que fue icónico en términos de representar el impacto que tiene en la población el cambio climático, teníamos en el sur de Chile donde estábamos acostumbrados lluvia y frio, olas de calor de más de 37°C y se nos estaban quemando los bosques en todo el sur de Chile y en el norte donde debiéramos tener calor etc., se nos estaban inundando gracias a estas precipitaciones extremas en la zona altiplánica. Entonces tenemos que hacernos cargo de las dos cosas y entender de una vez por todas que la adaptación sí es muy relevante y si no nos movemos en esto vamos a afectar a la población que está sufriendo los efectos del cambio climático.

En mitigación, lo que señalaba. Chile tiene mucho que mostrar y lo que tenemos que hacer es dar una señal al mundo de ir por más. Chile comprometió en el acuerdo de París su NDC y nosotros tenemos que ser capaces de llegar a diciembre y mostrar un compromiso mucho más ambicioso que el que teníamos comprometido. Por eso es tan importante la labor de todos los sectores. En transporte, de hecho, el presidente Piñera nos ha pedido avanzar 10 años delante de la meta de conseguir que el 100% del transporte público que sea con electro-movilidad. En la meta del 2050 propuso el 2040 para cambiar la matriz energética. Tenemos que ver cómo hacemos también la mitigación con nuestros bosques. Chile es uno de los pocos países que creció en términos de mantener bosques, que son grandes mitigadores del cambio climático. También los océanos; son todas temáticas que tienen que ver con mitigación, pero insisto en la importancia de la adaptación, de que Chile cuente con un mapa de vulnerabilidad por zona, que nos permita tomar las acciones concretas y que estén reflejados en los planes de ordenamiento territorial para poder tener en una gestión de cambio climático en Chile.

Pregunta.

—Usted manifestó la alianza público-privada como participación, me atrevo a hacer la pregunta aquí hay un colegio de profesionales de ingenieros, yo vengo del Colegio de Ingenieros en Medio Ambiente, entonces la pregunta es ¿Está contemplada alguna instancia en que podamos aportar derechamente Universidades u otras instituciones gremiales en esta instancia, luego de participar de la conferencia COP25 en Chile? ¿Como sumamos, usted lo acaba de decir, Chile lo construimos todos, ¿cómo lo hacemos en concreto?

Ministra Schmidt.

—Agradezco la pregunta. Lo que estamos haciendo ahora es construir la gobernanza de la COP entera, que es una gobernanza que requiere la participación de todos los sectores a nivel de Estado que tengan que participar a nivel de gobierno, en el sector energía, transporte etc. Y que tenga participación también de la ciudadanía y las comunidades y, como les comenté, el principal actor que el Presidente ha pedido es del mundo científico. Ya se convocó las universidades y el mundo científico a generar una gran asociación para la entrega de información que nos permita negociar las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, tanto a nivel internacional como nacional. Maisa Rojas es la que va a liderar el Comité Científico, se va a invitar a participar a todas las universidades, los centros de cambio climático que existen en Chile, donde los científicos chilenos se destacan notablemente. De hecho, Maisa Rojas está en el panel de expertos de IPCC de las Naciones Unidas y junto con todos ellos se espera poder ir delegando temáticas particulares a estudiar, eso es lo que está liderando el Ministro de Ciencia y Tecnología Andrés Couve y yo específicamente voy a señalar cómo se invita al Colegio de Ingenieros y al Instituto de Ingenieros.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Fin de la Conferencia.

"EL LITIO. LA INDUSTRIA QUE VIENE Y LOS EFECTOS DE LA ELECTROMOVILIDAD"

Conferencia del Sr. Jaime Alée, Fundador del Centro de Innovación de Litio, Presidente ESK Consulting



Sr. Jaime Alée durante su exposición.

El día martes 23 de abril de 2019, en el Club de la Unión con asistencia de personalidades del ámbito público y privado, se realizó la conferencia del Sr. Jaime Alée, quien expuso sobre el tema: "El Litio. La Industria que viene y los efectos de la Electromovilidad".

El Sr. Alée es Ingeniero eléctrico, de la Universidad de Chile. Fundador del Centro de Innovación del Litio, profesor experto y asesor principal adjunto en el Centro de Energía de Chile. Es fundador y director de ESK Consulting, experto en baterías de litio y BDA (aplicaciones dependientes de baterías).

Es miembro del Consejo Gerson Lehrman Group, Senior Team Third group LTD.; Analista de inteligencia industrial y de mercado en cadena de litio de valor agregado; Consultor internacional para industrias de fondos de inversión, gobierno y energía / electromovilidad. Autor de "ESK: Outlook 2017-2025 Pronóstico de la demanda de aplicaciones y sistemas que dependen de baterías (BDA) Baterías de litio (LIB) y litio (LCE) - análisis ascendente" y numerosas columnas, entrevistas y conferencias.

También fue CEO de NEC (Chile) durante diez años y fundador de la primera Compañía.com, en Chile en 1994 (Telemultimedia) y de la primera empresa que implementaba baterías de litio en Chile en 2014 (Elibatt).

Sr. Jaime Alée.

—Agradezco la invitación y es un honor para mí estar hoy aquí con el Instituto, que tiene una larguísima tradición en ingeniería. Espero no defraudarlos al hablar de algo que está día a día en la prensa y quiero presentarles algo que va a ser un poco polémico en algunos círculos, pero creo necesario dar lugar a alguna discusión sobre el tema.

La presentación tiene por título: El litio. La industria que viene y los efectos de la electromovilidad, y al final tiene un pequeño apéndice, respecto a la postverdad. Esto va como sorpresa.

La primera pregunta para que nos coloquemos en contexto: ¿Que tan importante es el Litio para Chile en términos económicos? (Figura 1).



Figura 1

Se habla mucho del litio, pero cuantifiquemos como ingenieros qué significa el litio. El año pasado, Chile exportó 75.500 millones de dólares, aquí están las exportaciones que se muestran del año 2018. Estos son datos del Banco Central y por ejemplo, Chile exportó 5 mil millones de fruta fresca, mil millones de dólares en vino, 500 millones de dólares en nueces, no sé si ustedes saben somos grandes exportadores de nueces, los primeros del mundo y 4 mil millones de dólares en productos del mar.

Quiero que memoricen esas cifras porque vamos a contextualizar, que tan importante es el litio y en general las materias primas para nosotros.

Ahí tienen las toneladas de demanda de mercado de litio del año 2018 en términos de volumen en toneladas (Figura 2).

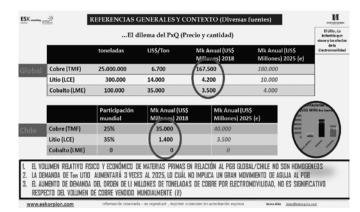


Figura 2

En este caso es del orden de las 300.000 toneladas, que tienen un valor económico global de 4.200 millones de dólares. Estamos hablando a nivel global, equivalente más o menos a las exportaciones nuestras de productos del mar. Particularmente en el caso de Chile, es del orden de 1.400 millones de dólares. Eso es lo que Chile vende de Litio. Vende 1.400 millones de dólares.

Como ustedes se imaginan con exportaciones de 75 mil millones de dólares al año, 1400 millones de dólares no son relevantes, ni van a serlo. Al año 2025, la demanda de litio va a crecer 3 veces, pero también va a bajar el precio y, más o menos las proyecciones son que el Litio el año 2025 puede llegar a un mercado de 10 mil millones de dólares y Chile va a recibir unos 3.500 millones. O sea, nunca va a ser mayor que lo vendemos en productos del mar y tampoco a lo que hoy día vendemos de vino, por ejemplo.

Primer bajón, ubiquémonos.

Se compara con el cobre y ustedes ven las exportaciones de cobre de Chile son de 35 mil millones de dólares. Es totalmente irrelevante, 1.400 millones por litio, contra 35 mil millones del cobre. Así que pensar que el litio va a reemplazar el cobre no tiene ningún asidero.

Coloqué en la lámina el cobalto, porque se habla mucho de él, es uno de los componentes del material activo de las baterías y es bastante caro. De hecho, el precio por tonelada es del orden de 35 mil dólares hoy día y llegó a casi 100 mil dólares unos meses atrás.

El cobalto es muy escaso, a diferencia del litio que es muy abundante, y solo se encuentra en el Congo, en África, la única mina de cobalto que hay. Y que se extrae como en las películas del siglo 19, a mano, en condiciones terribles.

Entonces el volumen relativo, físico y económico, de las materias primas tienen que compararse en P x Q, que es el valor económico del producto a nivel global.

Segundo. Aunque la demanda de litio va a aumentar efectivamente casi tres veces de aquí al año 2025, un 300%, no va a implicar un gran movimiento en la aguja del reloj de nuestra economía. Sí, puede ser relevante a nivel empresas que venden litio.

También hay una frase que se ha escuchado bastante, que el cobre se va a aprovechar de la demanda de los autos eléctricos y que cada auto tiene 50 kilos de cobre. Por lo tanto, Chile va a tener una sobredemanda de 1.1 millones de toneladas de cobre de los autos eléctricos. Bueno, ustedes entienden que 1,1 millones de toneladas en un mercado de 25 millones de toneladas tampoco va a mover mucho la aguja. No pasa de ser una aspiración que los autos eléctricos van a traer una bonanza en los precios del cobre, pero los números no lo dicen.

Bien, ahora que nos ubicamos en el contexto, vamos a ir entrando en materia (Figura 3).



Figura 3

Chile produce litio refinado, una refinación bastante exquisita, exigente, porque los que demandan el litio para baterías principalmente, son muy exigentes en términos de la pureza. Una pureza superior al 99,9% y además una serie de características adicionales que exigen en el compuesto que se exporta, carbonato o hidróxido de litio.

Y los precios se fijan, caso a caso, no existe un precio del litio, sino que cada empresa vende el litio a su cliente al precio que le conviene. Por ejemplo, SQM vende probablemente un 40% más caro que ALBEMARLE que vende carbonato de litio, porque tiene otro tipo de contrato, esto es caso a caso.

Se habla de otra ventaja, todos hablan de las reservas del litio. Bolivia tiene mucho litio, tiene muchas reservas de litio. Sin embargo, Bolivia todavía no produce ningún gramo de litio. No ha vendido nada. Ha gastado mucho dinero, pero todavía no logra producir litio refinado para vender. Porque no es fácil, es un proceso largo, toma tiempo llegar a producir el litio de la calidad que se requiere en la industria.

Entonces tener el recurso bajo tierra es una ilusión, no existe; el que no puede producir, no vende, así de simple. En este momento la ventaja de quienes logran abastecer la demanda explosiva que hay en litio, son capaces de producir mañana una ampliación de su oferta y son las empresas que están hoy día produciendo, que son 5 o 6 en el mundo. ¿Y cómo se transa?, caso a caso, es un juego de póker; es un tema comercial, las empresas tienen oficinas en todo el mundo, pasan viajando, están en Hong Kong, están en Corea, están en China, todo el tiempo negociando con sus clientes y compitiendo fuertemente. Y esto en medio de un tema geopolítico y complejo en relación con este mineral. Entonces el litio es un commodity sofisticado, pero, finalmente, un commodity.

Se piensa que la cadena de valor del litio parte de este producto y se imaginan ustedes o lo que ven o escuchan en la prensa, es que teniendo litio yo puedo producir autos eléctricos (Figura 4).

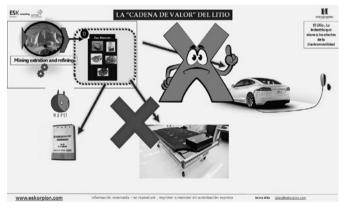


Figura 4

También que, si yo tengo litio, es claro que se va a venir a instalar Tesla y va a empezar a fabricar autos eléctricos. Desgraciadamente no es así. También se dice que vamos a poder producir baterías como esa, esa es la batería del auto Tesla directamente porque tenemos litio, tampoco. Por último, quizás podríamos producir pilas, tampoco. Esa no es la cadena del litio. No es que yo salto de la materia prima a producir pilas o autos o lo que sea, como si nada. Como tampoco puedo partir del cobre a producir cables de cobre directamente, de

"EL LITIO, LA INDUSTRIA QUE VIENE Y LOS EFECTOS DE LA ELECTROMOVILIDAD"

hecho, lo intentamos y la empresa como ustedes saben quebró, se llamaba MADECO.

Esta es la verdadera cadena de valor del litio (Figura 5).

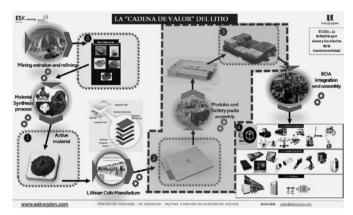


Figura 5

El litio que se refina se sintetiza con una serie de otros materiales para producir lo que se llama el material activo, que representa el 30% más o menos del costo de una celda o de una pila. El material activo es un compuesto que contiene litio, cobalto, níquel, hay distintas químicas. Se habla de hecho de las químicas de las baterías de litio. Ese material activo junto con otra serie de insumos entra a una manufactura de celdas como se ve ahí, que es normalmente automatizada y produce las celdas de litio o las pilas de litio. El N°2 que se ve ahí en la lámina. De ahí las pilas pasan a otra planta, otro tipo de manufactura que es el ensamblaje de estas celdas para producir y agregarles la electrónica necesaria para producir los packs de baterías o las baterías propiamente tales. Finalmente, las baterías las integran en las distintas aplicaciones para generar por ejemplo los autos eléctricos u otras cosas que usan batería.

Hay que pensarse cómo se desarrolla un país, que es en base al proceso industrial y ello requiere tiempo, capital humano, experiencia, cultura.

No simplemente porque tenemos litio. Los alemanes tienen buenos autos porque tienen buen aluminio, es absurdo. Ese es un poco el resultado de este análisis un poco simplista que se hace a través de la prensa.

Y la clave en todo esto realmente es la batería, que es el vector que permite que se desarrolle toda esta industria de vehículos que necesitan o productos que dependen de la batería.

¿Para qué se usan las baterías de litio? (Figura 6).



Figura 6

Hay tres categorías, para móviles, buses, drones, bicicletas etc. donde las baterías cumplen un rol particular. Aparte de que se usan para mover un motor, también se tienen que portar a sí mismas, son parte de la solución. Tienen que tener la capacidad de llevarse a sí mismas, aparte de mover el vehículo.

En el segundo caso, la batería alimenta equipos que son portables, pero ella no se lleva, sino que la llevamos nosotros, alguien lleva la batería.

Y la estacionaria que es la que está para alimentar, por ejemplo, el panel solar o cosas por el estilo. Y obviamente los requerimientos de las baterías son distintos dependiendo del tipo de uso.

Para un dron, por ejemplo, levantar el dron, llevarlo en forma vertical, es un esfuerzo tremendo, aparte que tiene que cargar la batería. Por eso que los drones no tienen duración de más de 8 minutos de batería.

Sin embargo, la principal demanda que se ha producido en el mundo es la electromovilidad (Figura 7).

Y en distintas aplicaciones, como las que ustedes ven en la lámina y eso es lo que está hoy día revolucionando al mundo, es lo más visible y va transformar de una u otra forma nuestras vidas. Y también de aquellos que se van a caer o se han caído en alguno de estos escúteres que están en Las Condes, les va a cambiar la vida.

Y vamos ahora a analizar un poco de números como buenos ingenieros que somos. Para tener también un margen de lo que está ocurriendo respecto a la electromovilidad (Figura 8).

En cuanto a los autos eléctricos, al año 2025 se espera que llegue a más de 9,5 millones la venta anual, en el mundo. El

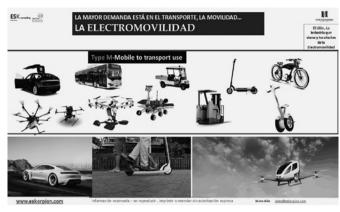


Figura 7

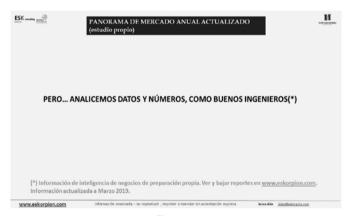


Figura 8

año pasado 2018, se superaron los dos millones de autos por primera vez, el año anterior se había vendido un millón, y el anterior 600 mil. O sea, el crecimiento es exponencial. El principal demandante de auto eléctrico es China con un millón, la mitad de la demanda mundial y también los principales productores, por supuesto.

El otro mercado son los buses. Los buses tienen la característica de ser grandes usuarios de baterías. Un bus representa más o menos 5 autos eléctricos en términos de batería. La batería de los buses que circulan por Santiago son de 250 kilowatt-hora, es más o menos el consumo de cada uno de ustedes en su casa por un mes. Entonces la batería de 1.000 buses es relevante. Los buses eléctricos han crecido mucho más que los autos eléctricos, en términos proporcionales, en el mundo, mucho más de lo que se esperaba. Y se espera llegar a cerca de 1 millón de buses eléctricos al año 2025. Ambos, los E-buses y los E-autos son los que más baterías van a demandar. Más que los monopatines o las bicicletas, en realidad los tamaños son totalmente distintos en términos de volumen.

Determinando la cantidad de vehículos que usan o instrumentos que utilizan batería, uno puede determinar, entonces, la demanda en gigawatt-hora para esa cantidad de vehículos (Figura 9).

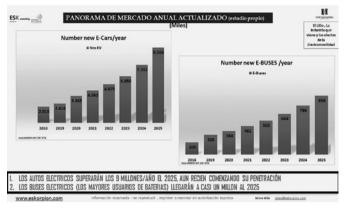


Figura 9

Esta es la metodología. Por lo tanto, vamos a tener una demanda del orden de los 714 gigawatt-hora de baterías al año 2025 y el total mundial va a llegar cerca de un millón de gigawatt-hora de batería. O sea, la electromovilidad representa el 70% de toda la demanda de baterías del mundo en el año 2025.

En la Figura 10 se ve la distribución de la demanda de baterías en el mundo desde el año 2018 al 2025 en todos los tipos de demandas que hay.

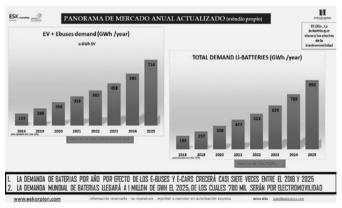


Figura 10

En el gris más alto se muestran los autos eléctricos. Como ustedes ven, es la torta más grande. Después, en otro gris, está la demanda estacionaria de baterías que será importante en

los próximos años. Todo lo que es la demanda de personal, de computadores o celulares, y otros, escúter o cosas por el estilo y otro tipo de artefactos que usan batería, herramientas eléctricas que son importantes, etc. Últimamente, en las construcciones, hay herramientas grandes que usan baterías de litio, que generan una nueva forma de trabajar en la industria inmobiliaria.

Y con todo esto se termina la demanda de litio, de carbonato de litio que como ustedes ven llegó a casi 300 mil toneladas en el año 2018 y se espera que llegue a un millón de toneladas el año 2025 (Figura 11).

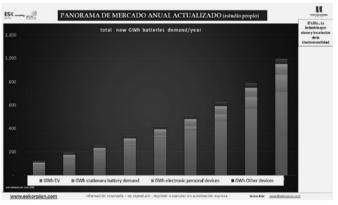


Figura 11

Esa es nuestra demanda de litio. Así se calculan los primeros números que yo les mostré. Entonces el crecimiento de la demanda de litio es enorme y principalmente dada por la electromovilidad.

Ahora también quiero darles algunos datos respecto a la electromovilidad y aquí es donde está la clave de lo que yo venía a mostrarles hoy día (Figura 12).

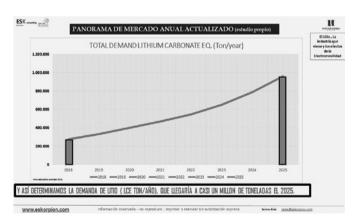


Figura 12

Si ustedes ven, están los vehículos eléctricos, la cantidad de vehículos eléctricos en unidades, en millones de dólares y la demanda de vehículos de combustión interna. Como ustedes ven, todavía al año 2025 la penetración de los vehículos eléctricos va a ser extremadamente baja. Se venden más o menos 100 millones de vehículos al año en el mundo, y estamos hablando que hay dos millones, sobre 100 millones, 2%. Vamos a llegar a un 9% de penetración, todavía sigue siendo bajo.

Y aquí hay un fenómeno interesante, que el mercado de la industria automotriz es enormemente grande, yo lo estimo del orden de 1.600.000 millones de dólares o 1.600 billones de dólares gringos. Esta es la industria que está siendo penetrada por la electromovilidad. Para que ustedes tengan una idea, la industria del automóvil representa el PGB de Canadá. Estamos afectando al equivalente de un país como Canadá, metiendo una trasformación productiva completa. Chile tiene un PGB de 200.000 millones de dólares y México del orden de los 1.000.000 millones, para que tengan una referencia de que estamos hablando.

Al año 2040 probablemente los autos eléctricos van a ser más que los autos de combustión interna. Entonces, al 2026, el mercado de electromovilidad será de 200.000 millones de dólares. Equivalente a Chile en pocas palabras. Al 2040 el mercado de electromovilidad va a ser del orden de 1.000.000 millones de dólares. 1.000 billones de dólares gringos. Un billón, para nosotros.

Estos números son enormemente grandes y eso sin lugar a dudas va a afectar a nuestro país y a toda la industria mundial que está relacionada con este mercado de la movilidad.

Pero con una sutileza muy importante (Figura 13).

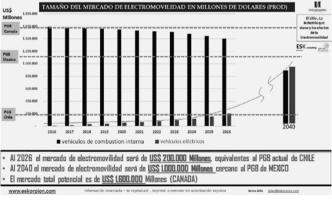


Figura 13

Que los productos y servicios de electromovilidad son nuevos y distintos y canibalizan el mercado actual. O sea, la industria del automóvil, tal como la conocemos, va a desaparecer y va a ser transformada en una nueva industria que se parece mucho, por fuera, pero por dentro es totalmente distinta; por lo tanto, este mercado que yo les digo que va creciendo, es un mercado de nuevos productos y servicios para una nueva industria que no existe hoy día. Y esas son las oportunidades.

Les voy a explicar eso de mejor manera (Figura 14).



Figura 14

Aquí tienen dos autos, idénticos, la misma marca, son Jaguar. Se ven idénticos, sin embargo, hay una diferencia entre ambos. Este es un modelo eléctrico y el otro es un modelo de combustión interna. Se parecen mucho por fuera, pero por dentro no tienen nada que ver. Su cadena de suministros sus servicios, incluso el combustible que usan no tiene nada que ver. Son autos, parecen autos, pero tienen otra conformación.

Estamos hablando que un vehículo de combustión interna tiene 2000 partes contra 200 partes de un vehículo eléctrico (Figura 15).

¿Qué pasa con todos los que fabrican todas estas piezas? ¿O los que dan servicio a todas estas piezas? ¿Qué pasa con los ingenieros mecánicos? ¿Qué pasa con los cursos de mecánica que hay en los institutos? ¿Qué pasa con todos los talleres que tienen servicios mecánicos? Ninguno es útil para estos vehículos de batería. El 50% del valor de un vehículo eléctrico es la batería. Y eso es otra industria, totalmente distinta.

Entonces, se parece mucho a esto, hay una industria que se va yendo y una industria que está apareciendo (Figura 16).



Figura 15

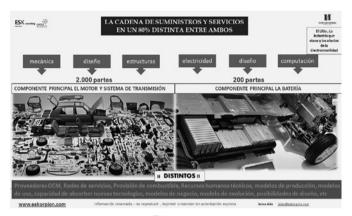


Figura 16

Son industrias que se van a sustituir una con otra. Eso es triste, pero también es una tremenda oportunidad, para los que entren en esta nueva industria que entiendan que es una industria distinta con miles de oportunidades, como dije, por el equivalente al PGB de Canadá, son miles de negocios.

Aquí hay una pequeña muestra de los proveedores de electromovilidad (Figura 17).

Si ustedes ven, estos son los distintos vehículos, pero las empresas que aparecen en la cadena de producción son, por ejemplo: LG Panasonic, A123, empresas que no tienen ninguna relación con la industria automotriz actual. Estas son nuevas industrias que están proveyendo a una industria nueva. Ellos están tomándose la oportunidad, ellos son los grandes proveedores.

Hay que tener presente que esta industria está recién formándose y hay países que sí están aprovechando esta oportunidad (Figura 18).



Figura 17



Figura 18

Pero no necesariamente en fabricar autos eléctricos, ni porque tienen litio, ninguno de estos países lo tiene, pero sí están participando en esta industria. Tenemos países como China, que se ha transformado en el súper líder de la Electromovilidad. De hecho, el 99% de los buses eléctricos que se ven en el mundo son chinos, incluyendo todos los que se venden en Chile.

India está haciendo una tremenda inversión en desarrollo de tecnología asociada a la electromovilidad. Israel se declaró, asimismo, que ellos no iban a fabricar autos, neumáticos y se iban a dedicar a todo lo que es automatización de los autos. Israel es el líder mundial en desarrollo de inteligencia para vehículos autónomos. Y hace un congreso y seminario sobre ello porque es una industria que tiene una tremenda potencialidad. Los autos eléctricos se parecen más a los computadores que a un auto. Ténganlo claro, lo van a usar como un computador, lo van a cargar como un computador, se va a parecer mucho más a un computador que a un auto, computador con ruedas les llaman. Tienen aplicaciones, se instalan en la noche y en la mañana aparecen en la pantalla del auto; yo lo he visto.

Noruega es el principal consumidor per cápita. Tiene un 50% de tasa de penetración de vehículos eléctricos hoy día. A pesar de que es productor de petróleo y su vida depende del petróleo, son los principales demandantes de vehículos eléctricos. Y ellos van a prohibir los autos de combustión interna en los próximos 10 años, a pesar de que ellos venden petróleo. Estas son cosas interesantes que están detrás de todo esto.

Los países árabes, se dieron cuenta de que el petróleo se va a agotar y están haciendo grandes inversiones en desarrollar campos tecnológicos e industria tecnológica. Están abriendo y dando subsidios para desarrollar tecnología.

Japón: van a ver cuando venga el próximo Mundial o las Olimpiadas, van a ver como Japón va a desplegar sus nuevas tecnologías en esa inauguración.

Finlandia, Estonia, Eslovaquia, países que son mucho más chicos que nosotros y que hoy día están liderando el desarrollo tecnológico para este nuevo mundo que se avecina.

¿Y qué tipo de servicios? (Figura 19).



Figura 19

Todos los servicios que básicamente ustedes conocen, más una serie de otros nuevos que tienen que ver con internet de las cosas, mucha tecnología, inteligencia artificial y un montón de nuevas aplicaciones que tienen los vehículos eléctricos, que son naturales para estos vehículos y que no son cosas del futuro. Se piensa que la inteligencia artificial o Big Data o todo eso, en realidad existe hace 10 años; ya pasó, y los que están estudiando eso están estudiando el pasado. El futuro es otra cosa muy distinta.

Y ahora vamos a aterrizar un poco en Chile (Figura 20).



Figura 20

Voy a mostrarles que no hemos estado tan ciegos, y algunas cosas que se han hecho y se están haciendo en Chile, aunque no mucha gente lo sabe porque son un poco subterráneas. Bueno, les contaba de mi viaje el 2009 donde conocí al Henry Ford los autos eléctricos. El 2009, hace 10 años atrás, existía ese vehículo, se llama ELICA, que sale en Wikipedia. Ese vehículo tenía una batería equivalente a la que tiene el Tesla y andaba a 360 kilómetros por hora, tiene 8 ruedas y el creador de este vehículo es el profesor Shimizu, que les decía, es el Henry Ford de los autos eléctricos. Está al medio de la foto.

Nosotros fuimos a hacer un proyecto con la gente de la Universidad de Chile para un bus eléctrico, para la comunidad de Yokohama en Tokio. Participábamos juntos en ese proyecto, nos fue mal, pero eran las voladas que nos pegábamos en el año 2009. Estábamos un poco adelantados a la época como ustedes se imaginan.

En el cable, Canal 13 en el 2012, se pasó un video, un documental sobre vehículos eléctricos (Figura 21).



Figura 21

Yo manejaba ese vehículo, que ahí se aprecia y que se va a empezar a vender este año en Chile y como se ve ya existía una Electro-bencinera en Las Condes, en Vitacura.

En la Universidad ya se están desarrollando este tipo de modelos para almacenamiento de baterías (Figura 22).

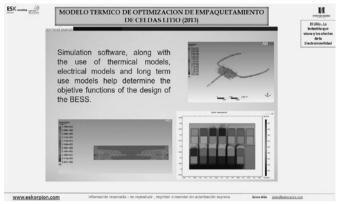


Figura 22

Luego, este es el prototipo de un vehículo desarrollado en la Universidad de Chile para uso en la minería (Figura 23).



Figura 23

En Argentina, se están desarrollando plantas para fabricar baterías. Este es un viaje que hice a Argentina (Figura 24).

También, ésta es una empresa chilena, donde están convirtiendo sus máquinas Crown que usan baterías de plomo, por baterías de litio (Figura 25).

"EL LITIO. LA INDUSTRIA QUE VIENE Y LOS EFECTOS DE LA ELECTROMOVILIDAD"



Figura 24



Figura 26



Figura 25



Figura 27

Este es un cambio a baterías de litio, ya han gastado más de dos millones de dólares en esta conversión y quieren ser uno de los principales productores mundiales de pack de baterías de automóviles.

Y esta empresa que está aquí en Santiago y ellos ya están haciendo esto, hoy día. Es una PyME de unos jóvenes que convirtieron un bus Diesel que tenía 1,5 millones de kilómetros en un bus eléctrico (Figura 26).

Obviamente era mucho más caro que los chinos, pero llegaron a este piloto y yo lo vi funcionar.

Este es otro tipo de negocio (Figura 27).

Esta es una capacitación que hicimos en la Universidad de Chile para 300 conductores de buses, donde estaban enseñando cómo funciona un motor eléctrico, a los conductores de buses. Esto es algo que no existía antes, nadie entrenaba conductores para manejar vehículos eléctricos y esto es parte de la industria. Aparezco yo manejando un bus eléctrico, me

lo prestaron porque quería probar como se sentía. Y ahí están los primeros buses que llegaron a Santiago. Hoy día Chile es el principal demandante de buses eléctricos en el mundo después de China, más que Estados Unidos, más que Japón, más que cualquier país de Europa.

Y llegando al final de mi presentación, una reflexión de cómo una posverdad se transforma en una verdad de tanto repetirla y finalmente termina siendo una decisión política.

Aquí hay 11 frases para el bronce que ustedes han escuchado (Figura 28).

Después de lo que yo les he dicho van a encontrar un poco absurdo alguna de las que se han mencionado.

"El litio es el petróleo del futuro" la han escuchado o no? "El litio es el nuevo sueldo de Chile", esa también la han escuchado. "El litio debe ser chileno y nacionalizado", eso salió en la prensa, "El litio es la puerta para la industrialización de Chile", "Chinos estudian instalar una fábrica de autos eléctricos



Figura 28

en Chile", "Elon Musk en Chile, instalará una gigafactory de baterías en Chile", "El litio y el cobre serán las puertas de la electromovilidad para Chile", "Un auto eléctrico requiere 50 kilos de cobre, un nuevo futuro para el cobre chileno", "Cómo pasar desde producir litio a producir baterías, eso es lo que se necesita", "Chile tiene cobalto, un elemento clave para la electromovilidad", "La Arabia Saudita del litio está en Sudamérica". Esto se ha dicho tanto y es tan mentirosa la cantidad de frases, pero se dijeron tanto, se hizo tanta publicidad, se habló tanto por la prensa que sin querer la empezaron a creer. Y el país se empezó a enamorar de la electromovilidad. Y de repente todos empezaron a creer en esto. Y empezaron a actuar como enamorados del negocio, ¿y qué pasó?

Se empezó a pensar seriamente por parte del Gobierno el tema de la electromovilidad, no sabían cómo hacerlo y empezaron a promoverla (Figura 29).



Figura 29

El Gobierno pasado lanzó un compromiso público-privado por la electromovilidad, la Ministra anterior de Transporte, después la actual Ministra sigue con la misma historia de la electromovilidad en Chile, Piñera aparece arriba de un bus eléctrico; ya en inglés empieza a aparecer que Chile tiene la principal flota de buses en América. La Moneda, por su parte, compró autos eléctricos para sus Ministros.

Chile la capital, tiene la flota más grande de buses eléctricos fuera de China y la mayor red de electrolineras, luego de México y Brasil (Figura 30).

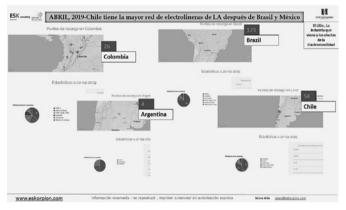


Figura 30

De repente nos hemos transformado en campeones de la electromovilidad, sin quererlo, sin saberlo, solo escuchando tantas frases que nos empezamos a convencer.

Ahora mis proyecciones. Si bien hoy día Chile tiene una baja penetración, mis estimaciones es que más de 10 mil vehículos eléctricos se van a vender el año 2021. Piensen que hasta ahora se han vendido como 200. Es una proyección bastante atrevida. Pero yo creo que sí, creo que va a crecer exponencialmente la demanda y si ustedes se fijaron en mi última afirmación, hoy día Chile tiene la mayor red de electrolineras después de Brasil y México en términos absolutos. Considerando el tamaño de estos países es una gracia. Chile tiene hasta marzo del año 2018, 54 puntos de carga de vehículos eléctricos contra 4 de Argentina, por ejemplo. O 26 de Colombia. Brasil nos gana, pero por razones obvias porque por simple osmosis aparecen electrolineras. O sea que hay algo que está ocurriendo en nuestro país pero que es emergente. Pero es también irracional, o sea, no va detrás de una lógica política, sino que fue transformado por el marketing.

Sin embargo, hoy día Chile tiene un décimo de la penetración promedio global de electromovilidad, con relación al mundo.

Muchas gracias.



Sres. Eduardo Santos, Juan Carlos Latorre, Pedro Lasota y Dante Bacigalupo.

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

Pregunta.

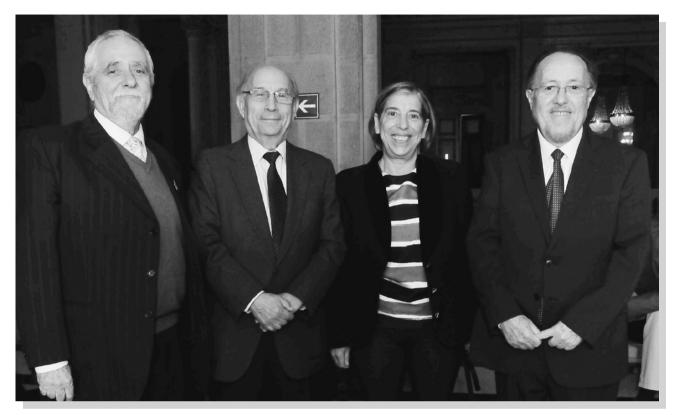
—Me gustaría saber tú opinión, si la quieres dar, respecto del proyecto que hoy día está impulsando CORFO, del Instituto de Tecnología Limpia del ex Ministro Bitrán, que aparentemente leyéndolo estaría basado en parte en una de las posverdades que hemos vista acá.

Sr. Jaime Alée.

—Esa iniciativa sí, claro por supuesto que puedo opinar. Esa iniciativa, propone crear un Instituto Tecnológico que utilice las platas de que fueron asignadas para I+D en los nuevos contratos de litio a las empresas que están proveyendo litio y, esas platas, la idea era invertirla en desarrollo tecnológico y para eso es, para la formación de un Instituto en el norte de

Chile, al denominado Instituto de Tecnologías Limpias. Este Instituto, en realidad, es a mi juicio una suma de cosas que tampoco tienen relación entre sí. Al principio teóricamente eran dineros del litio, son 200 millones de dólares que van a llegar los próximos 10 años de parte de SQM. Uno de los contratos que serían invertidos en Instituto relacionado con la industria del litio, sin embargo, aprovecharon de meter también la minería y después le metieron la energía Solar. Entonces ahora el Instituto Solar Minero y del Litio. Como tiene tres nombres, le pusieron Instituto de Tecnologías Limpias.

Este Instituto tiene como objetivo generar industrias, no un Centro Científico. No tiene sentido seguir haciendo Centros Científicos. Pero los únicos que tienen tiempo para presentar un proyecto de esta envergadura son las universidades. Así que las universidades rápidamente se unieron, armaron directorio, unidades, están todos los académicos de todas las universidades, la Chile, la Católica, etc., unidos en formar y preparar la propuesta que se entrega el próximo mes, la primera parte. Y después vamos a buscar las empresas, entonces la forma en que se está hoy día desarrollando el proyecto es por parte de las universidades principalmente como un emprendimiento.



Sra. Silvana Cominetti, y los Sres. Luis Zaviezo, Germán Millán y Jorge Alée.

Es como decir, tengo una idea, hagamos un Centro que fabrique esto y después buscamos una empresa que le interese y ponga la plata. Esa es como la forma que se está hoy día desarrollando. Y parte importante de las platas van para construir un laboratorio y un edificio.

La verdad es que yo creo que no es el camino. De hecho, escribí una columna en el diario sobre eso y soy muy crítico, porque creo que el desarrollo del país está en las PyMES, en las pequeñas empresas, no en las grandes empresas. Los que pueden participar en este Instituto son empresas que pueden poner mucha plata, porque las exigencias son de mucha plata. Pero todos los proyectos que yo mencioné son empresas pequeñas. Y en todo el mundo de donde ha salido la innovación son de las empresas pequeñas. Google no nació de una gran empresa, ni Yahoo!, ni Facebook, ninguna de ésas.

No existe ningún instrumento para que esas empresas se desarrollen, hoy día existen las iniciativas están allí, pero no hay ningún instrumento que las ayude, no tienen ninguna posibilidad de participar en ese Instituto que tu mencionaste.

Pregunta.

—Su exposición ayuda a desmitificar algunos aspectos, efectivamente esa Tabla de 11 puntos uno la ha escuchado y mucho.

Mi consulta es la siguiente: está dándose en la generación de electricidad un desarrollo importante de las baterías como sistema de almacenamiento de energía, combinado con energía solar y eólica. Ya están teniendo lugar licitaciones en Estados Unidos y en los diversos países en que se necesita generación acompañada de almacenamiento por tres, cuatro horas y los precios que se han logrado son importantes, a pesar de que el costo de las baterías podría tener bastante espacio como para bajar. Si los precios actuales son, como hemos visto, del orden de los 300 dólares por kilowatt hora, pueden llegar a 100 dólares por kilowatt hora y una combinación batería solar puede llegar a ser prácticamente imbatible como medio de generación hacia el año 2030 a 2035. Entonces, no me pareció ver en los cuadros que usted mostró una demanda por baterías que estuviera asociada a eso. Yo vi que la electromovilidad era el principal elemento de demanda. Y en relación a los sistemas de almacenamiento para la producción de energía, ¿cuál es su opinión sobre el futuro de



Sres. Alexander Chechilnitzky, Roberto Fuenzalida, Luis Pinilla, Germán Millán y Luciano Claude.

la batería como sistema de almacenamiento en combinación con las energías renovables variables?

Sr. Jaime Alée

—Bueno, efectivamente había una proyección, que yo mencioné, que un importante crecimiento de la demanda va a ser en baterías estacionarias que son justamente para ese tipo de aplicaciones. Sin embargo, estas unidades de baterías estacionarias son pocas unidades. La más grande que hoy día se ha instalado en Australia, la instaló Tesla, una batería de 120 megawatt hora. Como les dije, un bus eléctrico tiene 250 kilowatt hora. Es decir, 50 buses eléctricos son equivalentes a la batería que se instaló en Australia. La cantidad de volumen de los autos es tan grande que la demanda será de millones y millones de unidades. Las unidades aisladas, que estarán en algunos puntos va a crecer, pero nunca tanto como la movilidad por la cantidad de vehículos que van a circular.

Y sí, efectivamente hay un problema de precio de regulación. De precio porque todavía la batería de litio es extremadamente cara para ese uso en particular. Porque, si es estacionaria, para qué quiero una batería tan liviana, no me interesa, ni que ocupe poco espacio, lo único que tengo es espacio en el suelo. Entonces las baterías de plomo hoy día son las que están liderando el uso de aplicaciones en forma estacionaria, hasta que las baterías de litio bajen de los 80 dólares por kilowatt hora, es difícil que ese negocio sea competitivo con las actuales soluciones de almacenamiento.

Por otro lado, la energía solar está bajando, los paneles y las instalaciones han bajado, bajó el dólar por kilowatt lo cual hace que en realidad la batería que va a instalar en un panel solar, le descompensa la inversión completa, porque la batería es mucho más cara que la instalación de paneles solares. Por ejemplo, aquí en Chile recién se está empezando a hablar de la Ley de Distribución Eléctrica que es todo un tema, donde aparece el almacenamiento como un elemento constituyente de la red de energía que hoy día no está en la conformación de la red, salvo para usos particulares. Así que creo que eso va a crecer, pero es un paradigma que va a ir cambiando más lentamente que la electromovilidad.



Sras. Olvido Polanco y Erika Velez en compañía de los Sres. Manuel Carracedo y Pedro Inojosa.

Sr. Andrés Zabala.

—No vi un comparativo respecto de la batería en base de hidrógeno y de almacenamiento de hidrógeno, que viene siendo también una tendencia importante. Pero viene inmediatamente el ítem precio, comparada con una tecnología y la otra. Y la vida útil; todos tenemos un vehículo y la batería dura dos años y después supuestamente la reciclamos, la botamos. Que es lo que pasa con la batería de litio desde el punto de vista tecnológico, la vida útil, que es muy relevante del punto de vista de cómo desecho por un lado y el reciclaje por otro, que al final conduce directo al tema precio.

Sr. Jaime Alée.

—Bueno, respecto al hidrógeno, efectivamente hay algunos vehículos que funcionan con hidrógeno. Lamentablemente el hidrógeno requiere una red de distribución y de almacenaje, a diferencia de la electricidad que está disponible en todas partes. Por lo tanto, los autos eléctricos uno los puede enchufar en cualquier país del mundo, en el enchufe de su casa o en un cargador. Sin embargo, si uno quiere un vehículo basado en

hidrógeno tiene que tener plantas de combustible que vendan el hidrógeno, que se almacene hidrógeno, que se transporte el hidrogeno. Esto lo ha hecho extremadamente costoso, no tanto en el término de la batería porque generalmente el motor es eléctrico igual que un vehículo convencional, pero todo lo que es la infraestructura no puede competir contra una infraestructura que ya existe, que es la red eléctrica que está ahí, está disponible, por eso que la batería de litio ha explotado en la demanda.

Segundo, en relación con la vida útil de una batería de litio para automóviles, tiene del orden de 3000 a 4000 ciclos de duración, garantizado. De hecho, hay marcas como Tesla, por ejemplo, que vende el auto con garantía con kilometraje ilimitado por 5 años. Anda lo que quieras; de hecho, vienen hasta con la gasolina incluida. También puedes consumir toda nuestra red de carga sin costo. Pero eso es bastante más de un millón de kilómetros. Desde el punto de vista de un usuario de auto, un millón de kilómetros es bastante. Si algo tienen que reemplazar al millón de kilómetros, es probablemente el motor y va a tener que reemplazar la batería, parte de los gajes del oficio.

Pero es algo que está considerado, incluso hoy día, como las baterías están evolucionando rápidamente, algunas empresas están sacando baterías nuevas para sus vehículos que están recién vendiendo. Por ejemplo, ahora se va a empezar a vender el Nissan en Chile, que viene con una batería de 380 kilómetros de autonomía, el año pasado tenía 200 kilómetros y valía lo mismo que es el que viene.

Qué hace el que compró con 200 kilómetros y ahora ya viene uno con 400, se depreció el auto de un día para otro. Ese es el problema de la evolución tecnológica. Entonces Nissan está ofreciendo sustituir las baterías que están nuevas prácticamente por baterías del nuevo modelo a un bajo costo lo cual da origen a un montón de baterías disponibles para uso, por ejemplo, en aplicaciones estacionarias en lo que se llama la segunda vida de la batería en los móviles. Entonces es toda una industria circular en términos del uso y reutilización de las baterías.

Pregunta.

—Mi pregunta va relacionada hacia la sustitución del litio a futuro empleando otros elementos, los químicos que podrían hacerlo más barato.

Sr. Jaime Alée.

—Ese es el temor inherente a los países que venden materia prima. Que siempre está el temor de que alguien fabrique el sustituto y nos pase lo del Salitre. La verdad que en el caso de batería de litio es muy difícil que se sustituya porque no hay ningún plan ningún desarrollo real industrial para sustituirlo. Hay inversiones ya hechas para fabricar baterías de litio por miles de miles de millones de dólares, en que están recién hechas las inversiones, van a empezar a ser explotadas los próximos 10 años. Tienen que recuperar la inversión así que nadie va a querer que ello ocurra. Por otro lado, el litio es muy barato, en realidad representa hoy día en términos del 1% del valor de un auto eléctrico, el carbonato de litio.

El litio representa más o menos el 4% el valor de la batería. No es relevante. Si el litio subiera al doble de precio, podría ser. Pero la tendencia es que vaya bajando. De hecho, el cobalto representa tres veces más valor que el litio. Una batería de litio tiene tres veces más cobalto en precio que el litio. Y por eso el cobalto lo quieren eliminar de la batería. Hay un plan para hacer desaparecer el cobalto de las baterías en el mundo.

Pregunta.

—Volviendo al tema del uso de almacenamiento estacionario para energía solar y eólica, tu señalaste que hay un problema de costo que todavía la batería convencional de plomo le ganaba en uso estacionario al litio. Pero hay un tema de tamaño yo creo y de mantenimiento de la batería de plomo que pudiera jugar a favor del litio en lo que es almacenamiento para generación distribuida o sea para los paneles domésticos, que en un pack incluyendo batería de litio podría evolucionar más rápido el costo para justamente hacer más barata la sustitución a la red eléctrica.

Sr. Jaime Alée.

—Respecto a eso, hay un ejemplo económico bien simple. Si yo tengo un panel solar en mi casa y yo quiero almacenar sol durante el día para pasar la noche, ¿quién es mi competencia ahora? El distribuidor eléctrico por su puesto. O uso la batería o uso el distribuidor eléctrico. A lo cual mi batería tiene que salir más barata que el distribuidor eléctrico: si no, para que va a hacer la inversión. Hoy día el kilo watt hora que te vende la distribuidora de energía es casi tres veces más barato que inversión depreciada en el flujo de una batería de litio que tu compraste en un panel solar para usarla en tu casa. O sea, en ningún momento conviene comprar una batería por el precio actual de una batería para sustituir, te conviene comprar a la red eléctrica. Y la batería de plomo se usa en algunos casos ni siquiera se usa para almacenar energía. Salvo que sea en el caso que se llama off red, cuando no hay red de distribución; en algunas localidades, los colegios en Chile que están en ciertas islas se usan baterías porque no hay otra alternativa, y usan baterías de plomo. Efectivamente a ellos lo que le interesa es que sea precio menor y la batería de plomo vale menos de 70 dólares el kilowatt hora contra 400 dólares que te vale una batería de litio; no tienen por dónde. A la gente le interesa mucho la inversión inicial, más que el flujo.

La de plomo es mucho más grande y pesan 4 veces más, pero está estacionaria.

(Aplausos).

Fin de la Conferencia.

"MIRADAS DE LARGO PLAZO PARA EL DESARROLLO DE CHILE"

Conferencia del Sr. Ricardo Lagos Escobar, Ex Presidente de la República de Chile



Sr. Ricardo Lagos durante su conferencia.

El día jueves 30 de mayo de 2019, ante una concurrida asistencia de personalidades del campo público y privado, se realizó la conferencia del Sr. Ricardo Lagos Escobar, Ex Presidente de la República, quien expuso sobre el tema: "Miradas de largo plazo para el desarrollo de Chile".

Don Ricardo Lagos es abogado de la Universidad de Chile. y Doctorado en Economía en la Universidad de Duke, Carolina del Norte.

Fue profesor titular de la Universidad de Chile, Director de la Escuela de Ciencias Políticas y Administrativas y también del Instituto de Economía. En 1969 fue elegido Secretario General de la Universidad de Chile y luego, en 1973, asumió como Secretario General de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.

En 1990 fue nombrado Ministro de Educación y en 1994 Ministro de Obras Públicas. En marzo de 2000 asumió como Presidente de Chile.

Desde 2006 es Presidente de la Fundación de Democracia y Desarrollo.

Sr. Ricardo Lagos E.

—Quisiera, en primer lugar, agradecer esta invitación. Había estado una vez antes en esta reunión, hace ya varios años atrás cuando, como Ministro de Obras Públicas, tuvieron la gentileza de invitarme.

Siempre he tenido una relación con esta Institución a partir de ciertos hechos de la historia económica de Chile. Tengo muy claro que fue en el Instituto donde surgió la idea de la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo) para diseñar un plan de electrificación nacional que fuera más allá de la capital, de Valparaíso y Concepción, que era el Chile electrificado de 1930. Acá se planteó la necesidad de un Plan de Electrificación Nacional y dónde surgió Endesa y todo lo que conocemos del proceso de la industrialización, debido a la necesidad de sustituir importaciones.

Hablar de infraestructura y de ingeniería en el siglo XIX implicaba construir soberanía de un país, hacerlo independiente del resto del mundo. Hoy en cambio, eso no es así. Hasta hace muy poco, si algo teníamos claro, era que para insertarnos en el mundo lo debíamos hacer con ciertas reglas. Sin embargo, estas dejaron de existir y con ello surgieron desafíos cada vez más complejos.

La guerra comercial que en este instante estamos presenciando, está deviniendo en un enfrentamiento tecnológico bajo la pregunta ¿cuál será la tecnología dominante? Y los cambios en el escenario internacional terminarán afectando la forma en que Chile se inserta en ese contexto. Si bien antes existían normas a través de, en este caso, la Organización Mundial de Comercio, hoy estas aparecen absolutamente superadas, al igual que los posibles acuerdos que podían alcanzar órganos supranacionales, como Naciones Unidas.

En este escenario, el concepto país-continente surge con fuerza cuando vemos que hay países enormes como Estados Unidos y China que se disputan la hegemonía económica del mundo y vemos que prontamente se sumarán más actores. En 10 años más India, por ejemplo, tendrá una economía superior a la de Japón y en 15 años más será el país más poblado de la Tierra.

¿Cómo dialoga Chile entonces con el mundo? ¿Tendremos que estar a la espera de las decisiones de estas tres potencias? ¿O intentaremos tener alguna presencia como región? Porque si hablamos de Latinoamérica, no podemos hacerlo sin referirnos a México, entendiendo todos sus problemas internos y su extensa frontera con Estados Unidos y tampoco podemos obviar a Brasil con una política hacia adentro y proteccionista.

Tenemos un escenario internacional complejo desde el punto de vista de los entendimientos político-institucionales y eso plantea indudablemente un desafío.

Un segundo elemento que hay que agregar, tiene que ver con el tremendo desarrollo tecnológico y científico que ha marcado la agenda digital en los últimos años, llegando a cambiar incluso la geografía del mundo y la forma en cómo entendíamos el desarrollo económico de cada uno de nuestros países.

Pretender mantenerse al día en este ámbito, bien le puedo decir a ustedes que son ingenieros e ingenieras, es extremadamente complejo. Si les hubieran dicho 20 años atrás que la operación minera de un determinado mineral o del cobre, se iba a dirigir desde el décimo piso de una oficina en Las Condes y que dentro de la mina no hay un solo trabajador en la actividad propiamente extractiva del mineral, habrían dicho que es otro mundo, ¿no? Pues hoy en día la prensa estaba hablando de cómo la minería del futuro será digital. Los desafíos que plantea esta área son de una envergadura tal, que todavía no dimensionamos los cambios que vienen.

Las herramientas con que llegamos los que vivimos la segunda mitad del siglo XX, no tienen nada que ver con las que se necesitan en este siglo XXI. Y en ese cuadro, ¿cómo nos adaptamos a la inteligencia artificial, a la tecnología 3D, a la Big Data y a los algoritmos? Cuando queremos plantearnos un desarrollo hacia adelante hay que enfrentar un grado de complejidad relevante. Las respuestas que creíamos que eran las adecuadas ya no nos sirven, porque no sólo nos cambiaron el escenario, sino que también nos cambiaron la pregunta.

Desde el punto de vista político también hay una transformación muy de fondo. Durante el siglo XX, la política fue la forma que determinó cómo nos administramos en un país en democracia: había un liderazgo que tenía una visión determinada y la trasmitía a la ciudadanía. Esta escuchaba y cada cuatro o seis años elegía a quien quería que la condujera, en función de esa persona, sus ideas y los partidos políticos.

Pero hoy la política es horizontal, no vertical. Los partidos instruyen, no dan órdenes y el ciudadano demanda directamente a sus líderes sus necesidades. Esta horizontalidad, nueva en todo orden de cosas, hace más compleja la política, pero a la vez más amplia y transparente.

Una de las modificaciones debidas al avance tecnológico y del conocimiento es como la jornada de trabajo seguirá disminuyendo. Los de mi edad, trabajábamos y hacíamos clases el sábado en la mañana, momento en que solía terminar la semana para la gran mayoría. Hoy, exceptuando algunos comercios

específicos, esto ya no es una posibilidad. La semana termina el viernes y, para muchos, el viernes al mediodía ya comienza el fin de semana. En 20 años más será más distinto aún. Seguro los viernes tampoco se trabajará y el tema se centrará en qué hacemos ese día y cómo abordaremos la flexibilidad laboral. Nuestra forma de entender el desarrollo hacia adelante tiene que hacerse cargo de estos temas.

Otro ejemplo. Hoy el Puerto de Valparaíso compite con el Puerto de Buenos Aires, ¿cómo es eso? Sí, porque si un barco en Valparaíso demora sólo un día menos que un barco en Buenos Aires o Sao Paulo en llegar a Shangai, lo que verdaderamente va a determinar si el usuario opta por Valparaíso, Sao Paulo o Buenos Aires, es la eficiencia del puerto en descargar el barco, porque es infinitamente más caro que un día más de viaje. Me tocó estar un par de años atrás, en Cartagena de Indias y fui a conocer el Puerto. Ahí muy orgullosos me dijeron: "Señor usted está en el más importante Puerto del Pacífico". Yo no sabía que era el más importante desde el punto de vista de los barcos que transportan contenedores, estaba ahí.

Este paneo sobre los cambios científicos, económicos, tecnológicos y políticos son importantes para entender el tema que nos convoca: Desarrollo y una mirada a largo plazo de nuestro país.

El sistema tan globalizado en el cual vivimos está aquí para quedarse, pero la globalización al interior de los países y entre ellos mismos, genera ganadores y perdedores, como en toda actividad. ¿Cómo se logra entonces ser un país relativamente bien integrado donde todos tienen la sensación de que tienen un espacio? Porque los que son perdedores deben tener alguna modalidad, alguna política que los integre dentro de los beneficios que trae la globalización.

El Premio Nobel Joseph Stiglitz publicó recientemente el libro *Un capitalismo progresista para el siglo XXI* en el que trata de explicar todos estos temas. Es decir, sobre cómo tener un sistema democrático, con Estado de Derecho y, al mismo tiempo de respeto a los derechos humanos y todo lo necesario para dar cuenta de estas nuevas realidades dentro del sistema. Y es acá que Chile tiene que insertarse y entender que, si vamos a estar en un mundo de grandes potencias-continente, tenemos que hacer oír nuestra voz respecto a nuestros temas y enfrentar la compleja situación actual de la región para unirnos bajo un mismo discurso.

Asimismo, en Chile tenemos un clima enrarecido y vivimos bajo una crisis de confianza en lo más profundo de su alma. ¿Qué instituciones quedan en pie? Leí hace unos días una encuesta que decía que la única institución considerada prestigiosa del

país era el Cuerpo de Bomberos. Esta crisis de confianzas y la deuda que tenemos con la sociedad para restaurarlas se debe a que hace 25 años teníamos a un país con 40% de gente viviendo bajo la línea de pobreza, mientras que hoy ese número es del 5 a 6%. Entonces ese 30% que superó la pobreza tiene miedo de volver atrás, pero, lo más importante es que tiene demandas muy distintas a las de su pasado. Me tocó en algunas visitas que hice a terreno que alguien me dijera: "pero Presidente, imire las casas que nos han entregado!, no tengo donde dejar el auto" y mi única respuesta fue decirle "perdóneme, pero estas casas fueron propuestas hace 20 años y usted 20 años atrás ¿pensó que iba a tener auto? –No, como se le ocurre, nunca pensé que iba a tener auto" –me contestó: "Bueno yo tampoco pensé que usted iba a tener auto" le dije.

Como ustedes se darán cuenta, el tipo de demandas no sólo son distintas, sino que son más altas y no hemos sabido darle respuestas coherentes. Por ejemplo, actualmente se mantiene la misma presión tributaria que la que teníamos hace veinte años y ¿saben cuál es el impuesto que representa el casi el 50% de lo recaudado en Chile? El IVA, lo que no es como para estar orgullosos de nuestro sistema tributario. En los países que conforman la OCDE el IVA representa 24% de los impuestos recaudados y no conozco un país donde la mitad de los impuestos provenga del IVA. Y este tema, ustedes ¿lo han visto en un debate tributario? Este es el tipo de cosas de fondo, que no discutimos, son las que nos impiden avanzar mirando hacia el futuro.

La situación a la enfrentamos nos obliga a tener presente a entidades como el Instituto de Ingenieros de Chile, que tiene una convocatoria muy importante para pensar el país de una manera distinta a como lo estamos haciendo desde las cúpulas políticas.

Y si el primer gran desafío es recuperar confianzas, lo que sigue es recuperar el crecimiento del país. Para esto es fundamental ponernos de acuerdo y avanzar, porque mientras el tiempo pasa nos quedamos en la discusión, no hacemos ninguna reforma sustantiva y bajamos siete puntos la competitividad en el ranking mundial. Por esto el planteamiento central debería ser, ¿dónde y cómo podemos consensuar una mirada común de los temas estructurales?, ¿podemos recuperar un ritmo importante en el ámbito de la infraestructura?

Un ejemplo en este sector es la importancia de aunar criterios e instaurar un fondo de infraestructura y un plan de ejecución. Sin embargo, esto se complejiza al pensar que un país se hace de cero cada cuatro años, porque por definición, ustedes los ingenieros e ingenieras, diseñan proyectos que demoran al menos ocho años. La infraestructura es un ámbito crucial y la

idea de un fondo para su desarrollo consiste en que se pueda imaginar Concepción, Calama o Valdivia en los próximos 10 años, sin depender del gobierno o las políticas de turno.

Cuando se hicieron las concesiones y aquí hay varias personas del Ministerio de Obras Públicas que lo saben mejor que yo, lo que se invertía en ellas era igual o más que lo que hacía el mismo MOP. Y ese ritmo lo perdimos. Así como perdimos el rol que teníamos en materia de minería en la que pasamos de concentrar el 35% de la producción minera del mundo al 26%., a lo que debemos agregar el complejo contexto internacional como la guerra comercial entre China y Estados Unidos donde este último país prohibió exportar los metales esenciales para los chips y tecnología desde China.

También debemos entender que el vínculo del ámbito público y privado es fundamental para alcanzar el crecimiento del país. Por ejemplo, en las áreas de investigación, ¿Quién debe hacerse cargo? ¿Los privadoso el Estado? ¿Es una combinación de ambos? El ideal sería que suceda esto último, pero si bien es fácil decirlo, es muy difícil concretarlo. Tal vez debamos seguir algunos ejemplos como en el área alimentaria, donde en conjunto se definieron los productos y las variedades que se requería investigar para producir y se transformó a Chile en una potencia alimentaria. O como lo que sucedió en el campo de la astronomía, porque si hoy somos una gran potencia astronómica es porque hubo una mirada común sobre cómo negociamos el acceso para los astrónomos chilenos en los telescopios internacionales que se estaban instalando en el país hace treinta años. Y porque hubo esa visión a largo plazo, hoy tenemos un campo que antes era imposible de soñar. Se aprovechó una ventaja comparativa (tener los cielos más limpios del mundo) y se miró a largo plazo, porque cuando se negoció y se otorgó el derecho a instalar los grandes centros astronómicos en el Norte de Chile a potencias internacionales, se puso como condición que el 10% de la observación fuera realizada por astrónomos chilenos. Hoy son 320 y tantos días de observación garantizada al año y estamos en condiciones de ser la potencia que somos por estas condiciones excepcionales que tenemos.

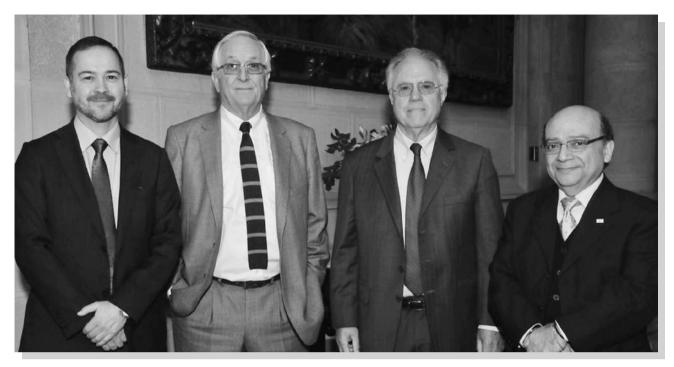
En el desafío de cómo enfrentamos al cambio climático también nos jugaremos buena parte de la visión de país en el siglo XXI. Cuando se haga la interconexión del sistema del Norte Grande con el Sistema Central podremos tener un avance muy significativo en descarbonizar nuestra matriz. Y si antes, como país, estábamos orgullosos porque nuestro ingreso per cápita era de 25 mil dólares anuales, muy pronto la pregunta por el grado de desarrollo de un país será de acuerdo a cuánto emite por persona. Esa será la medida civilizatoria de un país y, en un contexto en que Estados Unidos emite 20 toneladas

por persona, Europa, entre 10 y 12 y China 5, la organización mundial cambiará por completo. Porque no podemos aspirar a vivir en ciudades como Atlanta sin pensar que, en materia de transporte público, Atlanta emite siete veces más que Barcelona. ¿Cuáles serán nuestros referentes? ¿Cómo será la ciudad en la que queremos vivir? Es en este tipo de temas en los que es indispensable alcanzar un cierto consenso.

Para finalizar compartiré con ustedes los diez puntos sobre cómo creo posible recuperar las confianzas y retomar el crecimiento del país que se encuentran en un libro que publiqué en 2017 llamado *En vez del pesimismo*.

- No es posible avanzar hacia un país más próspero, justo, sustentable, inclusivo e igualitario sin una estrategia de desarrollo coherente.
- No es posible diseñar una estrategia de desarrollo coherente que no se haga cargo de los cambios de época en el mundo que nos rodea.
- Cualquier estrategia de desarrollo progresista debe ser aliada, compatible y tributaria de los cambios tecnológicos que trae el futuro.
- No es posible vivir un proceso de cambio y de transformación como el que exige la estrategia de desarrollo sin un robusto sistema de protección social.
- 5. No es posible construir un sistema de protección social sostenible sin responsabilidad fiscal y sanidad financiera pública. Entendiendo que los equilibrios de ese ámbito no son de izquierda ni de derecha, es sentido común.
- 6. No es coherente un sistema de derecho social y económico sin que queden en claro también los deberes sociales y económicos. El derecho crea una contrapartida: el deber. Mucho énfasis en derecho y poco en deberes no conduce a ninguna parte.
- No es posible generar grandes transformaciones sin grandes mayorías políticas, sociales y públicas que se sostengan con convicción y no por conveniencias circunstanciales.
- 8. No es posible generar reformas transformadoras sin calidad técnica en el diseño y ejecución de éstas en el momento oportuno, desde el punto de vista político y económico. Y esta sí es tarea para este Instituto.
- No es posible alcanzar el desarrollo económico social y político sin credibilidad en las instituciones, partidos políticos y empresas.
- 10. No es posible recuperar la credibilidad de las instituciones, partidos y empresas, sin líderes dispuestos a sacrificar su interés personal en función del interés nacional.

En este contexto surge la pregunta ¿Qué ha pasado en Chile donde el desprestigio de las instituciones es en buena medida producto de actos de corrupción o el deseo de creer que hay



Sres. Alfonso Barraza, Víctor Bezanilla, Dante Bacigalupo y Alejandro Polanco.

un atajo con artilugios para tener una vida mejor? En el Chile del pasado no digo que no había corrupción, pero había una cierta ética que se ha perdido. Y eso es lo que uno extraña. A Aníbal Pinto, cuando dejó La Moneda –en la época en que los Presidentes vivían ahí– sus amigos tuvieron que hacerle una colecta para que tuviera donde vivir. Eso es lo que nos enseñaron del Chile republicano. Y eso ciertamente es lo que estamos perdiendo. No tengo nada contra las personas que disfrutan de un buen pasar, me parece espléndido, bien por ellas, pero ese no es el tema. El tema es cómo organizar una sociedad con valores éticos.

Por ejemplo, nunca pensé que iba a vivir en una dictadura, lo digo derechamente. Nunca me lo imaginé para Chile, pero llegó, ocurrió. Fuimos capaces de superarlo, dejarlo atrás, ¿Y ahora qué?

En instituciones como esta se pueden abordar estos temas que están más allá de sus tareas cotidianas, pero que tienen que ver desde qué punto de vista; desde qué lugar se piensa Chile a largo plazo. Porque este no es el Chile del siglo XX. Tenemos que actuar en un mundo totalmente distinto, cada vez más pequeño a causa de una globalización, que hace que ahora los desafíos sean a nivel mundial. Y nos guste o no, en esa competencia a nivel mundial, un país como éste podrá tener

oportunidad si tiene la capacidad de desarrollar una mirada común y un núcleo donde debatir los temas más fundamentales. A lo mejor ahora es un punto de partida para ver cómo nos manejamos en este mundo nuevo, cómo hacemos para que se nos escuche y cómo, desde esa realidad, aprendemos a identificar cuáles son nuestros aliados.

En el mundo de hoy, los valores y las ideas compartidas pueden enmendar rumbos y recuperar el rol que tuvimos. Compartir todo eso hace un mundo posible sobre el cual quisiéramos vivir y no nos sintamos tan solos.

El libro que reúne los diez puntos que les mencioné anteriormente se llama *En vez del pesimismo* haciendo referencia a un libro de Jorge Ahumada publicado en 1950 llamado *En vez de la miseria*. *En vez del pesimismo* es una invitación a construir entre todos y todas, un futuro común, recuperando las confianzas. Y en eso, ustedes como Instituto de Ingenieros de Chile, tienen un rol para pensar de qué manera podemos recuperar el sentido de país; el sentido de historia y volvamos a caminar juntos, como buenos chilenos y chilenas.

Muchas gracias.

(Aplausos).



Sres. Gustavo Estay, Hugo Ortiz, Enrique Cruz y Jorge Adonis.

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

Sr. Javier Etcheberry.

—Presidente, muchas gracias por su exposición. Mi pregunta es más bien complementaria y se refiere al rol del Estado. Porque usted habla de una mirada a largo plazo, de lo que habría que hacer, cómo ha cambiado el país, pero yo creo que es difícil ir en la dirección que usted propone si el Estado no tiene un rol más decidido. Yo, por haber trabajado mucho en modernizaciones, y en especial en el Servicio de Impuestos Internos, me invitan a las distintas comisiones que hay sobre modernización del Estado. Y observo que no hay una concepción de que, desde el Estado, se lidere al país. Se cree a lo mejor que, con los políticos no se puede hacer mucho, que el mercado va a resolver todo, hay como una sensación de derrota.

Uno ve a Estados Unidos, incluso China como se pelea como Estado con las empresas americanas cómo los otros gobiernos, que muy capitalistas serán, pero también intervienen y van en una dirección. En Chile, por ejemplo, tiene que haber competencia, pero hay muchos sectores, oligopolios o monopolios en que son los propios reguladores los que los defienden. El Estado en todos

los temas de las nuevas tecnologías debería dar el ejemplo en modernizarse y tener una política de largo plazo, para de verdad estar a la altura y adaptarnos a ellas, si queremos ser desarrollados. O sea, hay toda una etapa que debemos superar para ser mundiales, pero como que creemos que no es posible y no nos creemos el cuento. Yo creo que eso lo tiene que liderar el Estado.

Sr. Ricardo Lagos.

—Bueno, para abordar el tema del Estado, creo que hay distintas formas de observar esta materia. ¿Por qué? Porque se supone que el Estado es la expresión jurídica de una sociedad. Creo posible advertir una dicotomía entre el Estado y el espacio que debe tener la sociedad, pero ¿hay un espacio para la sociedad? En la visión que nos plantea Javier Etcheberry entiendo que hay una inquietud, ¿cómo modernizamos el Estado para ponerlo acorde con las demandas de la sociedad? Es la sociedad la que quiere y exige determinadas cosas al Estado, mientras que otras, son exigibles al mercado. Pero la manera como usted opera es que en definitiva el Estado es manejado por el poder político. ¿Se podría establecer algún tipo de instituciones que reflejen lo que es la sociedad?

Un Estado no es lo que el Gobierno de turno quiere, porque se supone que ese Estado está al servicio de satisfacer



Sra. Silvana Cominetti y los Sres. Raúl Demangel, Ricardo Lagos, Luis Nario y Luis Gazitúa.

necesidades que son más prolongadas que el Gobierno de turno. Por lo tanto, usted establece una institucionalidad que debe ser la expresión de una sociedad que, por definición, es más permanente que el Gobierno de turno.

Y aquí hay un espacio para crear algo intermedio. En otros países como en Francia, por ejemplo, está la institución de una gran asamblea de intereses entre empresarios, trabajadores y representantes de las regiones. Esa asamblea se aproxima a los problemas de una forma distinta a como lo hace un partido político. Y hay un conjunto de temas que requieren de esa aprobación, de esa asamblea, que es distinta de la Asamblea Nacional.

En consecuencia, uno podría imaginar una entidad que piense cómo y que represente a la sociedad como tal.

Esto es pensar en un Estado distinto, incorporando las tareas de uno tradicional. Ustedes han sido testigos de algunos mejoramientos en el ámbito institucional, por ejemplo, a Javier le tocó encabezar uno en un servicio importante. Y claro, cuando se hizo fue inusual y una muestra de cosas que pueden mejorarse. Pero hay que resolver la introducción del concepto de este tercer actor que viene siendo la sociedad, donde hay distintas interrogantes, el cómo a la sociedad se le da voz y hay distintas formas de hacerlo, sobre todo si se le

da un mejor uso de las tecnologías digitales, porque permite pedir y obtener la opinión sobre ciertos temas a todo un país. El ex Presidente Obama, cuando terminó su primera campaña presidencial tenía 20 millones de seguidores en redes sociales. Por eso cuando fue electo, les propuso seguir juntos y armó una dinámica que consistía en que, cada vez que un número determinado de sus seguidores quisieran que hablara de un tema específico, él lo haría. No hubo compromiso de resolver el problema, simplemente tenía que hablar de eso. Y siempre lo cumplió religiosamente.

Ya está por verse cómo las nuevas tecnologías van a cambiar la forma en que como entendemos las instituciones políticas. No estoy diciendo que su uso será permanente, pero sí que debe tener un uso inteligente. Por ejemplo, los uruguayos tienen una norma por la cual ellos pueden derogar una ley aprobada por el Parlamento, siempre y cuando un número X de ciudadanos lo pida; y se llama a un plebiscito. Pero ese plebiscito es vinculante solo si el número de ciudadanos que votan es igual o mayor al número de ciudadanos que eligieron a ese Parlamento que aprobó la ley que la ciudadanía quiere derogar. Si en ese plebiscito no vota el número superior de ciudadanos establecido, bueno, podrá ser muy interesante, pero no es vinculante Y en este caso entonces no se deroga la ley. Este es un ejemplo para pensar en la utilización de medios tecnológicos.



Sra. Ximena Polanco y los Sres. Sergio Bitar, Carlos Massad, Ricardo Lagos y Rodrigo Azócar.

Todo esto que he mencionado debería estar presente en una modernización del Estado y ahí surge otra pregunta adicional, ¿qué instituciones políticas nuevas van a surgir? Porque si pensamos en aventurarnos sobre un tema ¿Quién fue responsable del surgimiento de la democracia? Uno podría decir que Gutenberg, cuando inventó la imprenta. Porque Gutenberg inventó la imprenta y 100 años después alguien inventó el diario y 100 años después de eso hubo unos filósofos en Francia que dieron forma a este sistema y lo divulgaron, entonces la democracia al final fue producto de la imprenta, que después se masificó con la radio o con la televisión, ampliando su llegada a la población más allá de quienes sabían leer y escribir.

Sr. Mauricio Sarrazin.

—Hay un problema que no teníamos nosotros cuando éramos chicos, pero que hoy en día es muy preocupante, me refiero al problema de las drogas. Los narcotraficantes, las mafias que cada día tienen más poder, empiezan a corromper a la policía, al legislativo, a los jueces y en Chile está tomando mucho vuelo. Que se podría hacer para impedir esto, ahora, antes que sea demasiado tarde.

Sr. Ricardo Lagos.

—Creo que usted ha tocado un tema que es muy crucial. Si me dicen que, de las mujeres presas en Chile, más de la mitad están por tráfico de drogas –principalmente por microtráfico afuera de colegios– es impactante. Durante 40 o 50 años, se ha llevado a cabo una lucha ante el narcotráfico siguiendo los lineamientos de las Naciones Unidas que señala que el enfrentamiento debía ser frontal. Y yo diría que ésta es una guerra que se ha ido perdiendo.

Esa es la razón por la cual algunos reconocen que este tema tiene tres aristas. La primera es que tenemos que distinguir entre drogas, es decir, cuáles son las más adictivas e incluso realizar un comparativo con el alcohol y el cigarrillo. Porque, si se trata de sustancias adictivas, hay que aplicar el mismo criterio. Discutible ¿verdad?

Lo segundo, es que cuando se trata de adicciones irrecuperables, asumirlas. Si las adicciones irrecuperables se trataran como enfermedades de salud, se sacaría del mercado esa enorme cantidad irrecuperable de personas que están dispuestas a matar a su madre con tal de poder tener plata para drogarse. Es decir, considerar a los adictos irrecuperables como parte

del problema de salud pública de un país, que es lo que hacen muchos de los países europeos como Suiza o Holanda, donde este tipo de drogadictos van a centros especializados que le tratan sus enfermedades y le dan dosis de la droga que necesitan, eliminando así el narcotráfico ilegal y sus consecuencias.

Lo tercero es distinguir al narcotraficante primerizo y con los que son grandes tiburones. Si el primerizo es un señor o señora que entra al sistema punitivo, saldrá experto en delincuencia. Esta mirada implica diseñar un sistema carcelario tan distinto al que tenemos y superar los problemas de hacinamiento y violencia. Porque si hablamos de infraestructura, justamente el ritmo de construcción de cárceles en Chile (que llegamos a doblar la superficie carcelaria del país en algún momento) no se mantuvo y eso hace imposible siquiera pensar en aplicar este tipo de medidas en el país. Si bien podemos llegar a desplazar a Estados Unidos, que tiene el número mayor de gente en la cárcel con respecto a su cantidad de población, pero no sé si esa es la solución. Sí me queda claro, que aquel que delinque por primera vez, hay que ponerlo en una cárcel separada, con otros delincuentes primerizos y no juntarlos a todos, porque salen doctorados en delincuencia.

El tema del narcotráfico en Chile es preocupante, porque ha ido aumentando, y ahora estamos en un nivel que obliga a un tratamiento muy distinto. Pero tenemos que hacer estas distinciones, respecto al consumo y el tráfico porque permite un tratamiento más efectivo al que hemos implementado hasta el momento.

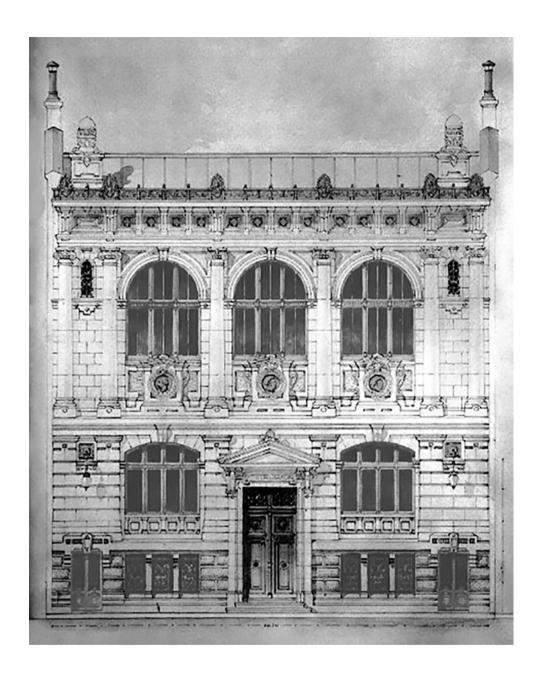
Y la última reflexión sobre esto. Todo lo relacionado con las drogas entre Estados Unidos y México, en la frontera común, curiosamente, se descubre siempre solo del lado de México, raro ¿no? Por ese túnel situado en la frontera pasan los que llegan directamente a Estados Unidos, pero por ese mismo lugar que va la droga, vienen de vuelta las armas para que los narcos se sigan defendiendo. El mayor número de lugares de expendio de armas de fuego ¿dónde está? En la frontera. Y estos datos los conocemos todos, pero no lo decimos muy fuerte porque es complicado. La OEA hizo un estudio preciso de cuánto cuesta el kilo de droga dura puesto en el lugar donde se produce: 2, 4, 6 dólares. ¿Y cuánto termina costando en Estados Unidos? Más de 600. El 25% de la droga se produce en estos lados, pero el 25% total de la droga del mundo se consume en Estados Unidos.

Antes la droga llegaba en barco, pero con los sistemas de detección que hay hoy en día se localiza muy fácilmente al barco que lleva la droga y, en consecuencia, tienen que hacer el traslado por tierra y los grandes perjudicados de eso han sido los países centroamericanos, aunque es tema es internacional. El narcotráfico, las migraciones y el cambio climático son temas globales que no se pueden tratar a nivel doméstico de un país, porque está tan interrelacionados con todo mundo y que nos obliga a tener entendimientos internacionales, punto. En migraciones y en cambio climático, tiene que haber acuerdos internacionales porque si no, no seremos un mundo viable.

(Aplausos).

Fin de la Conferencia.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS



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

En esta ocasión se presentan dos extractos de las entrevistas realizadas a los ingenieros Guillermo González y Guillermo Noguera. Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.

GUILLERMO GONZÁLEZ REES.

Un agente de vanguardia.

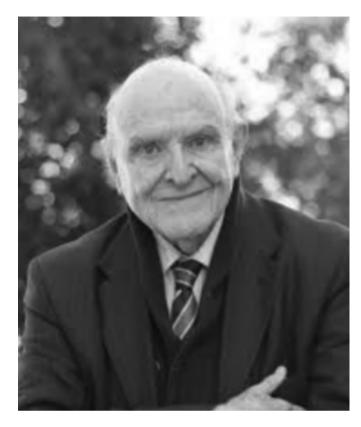
Desde niño le interesó la ciencia y la tecnología. Realizaba pequeños proyectos con electroimanes, luces y teléfonos. Siendo pequeño, construyó un sistema de control automático de avance, retroceso y de señalización para un tren eléctrico de juguete. A temprana edad decidió que quería ser ingeniero. Lo que le motivaba estaba en las revistas de divulgación técnica de la época, como Popular Mechanics y en su capacidad de observación. Para estudiar escogió a la Universidad de Chile, donde se tituló como Ingeniero Civil Electricista en agosto de 1958.

Entre las principales personas que influyeron en su formación académica señala al Profesor de Cálculo y Álgebra, Domingo Almendras, al profesor Arturo Arias de Mecánica Racional y al profesor Santiago Astrain de Física aplicada a la Ingeniería Eléctrica.

Después de titularse de Ingeniero, estudió en la Universidad de Michigan, en Ann Arbor, Michigan, Estados Unidos. De ahí recuerda al Dr. Arch Naylor, quien le abrió el campo de las matemáticas modernas y su relación con la ciencia y la tecnología. También menciona al Profesor Joaquín Cordua, que fue el primer el Director de jornada completa del Instituto de Investigaciones y Ensayos Eléctricos (IIEE, precursor del actual Departamento de Ingeniería Eléctrica de la FCFM). Al egresar de la carrera de ingeniería quería ingresar a Endesa, sin embargo, el profesor Cordua lo convenció de integrarse al IIEE de la Universidad de Chile.

Otra persona que tuvo una importante influencia en su vida académica y profesional es el profesor Alban Lynch, que era director del Julius Krutschnitt Mineral Research Centre (JKMRC) de la Universidad de Queensland de Australia. Gracias a él tuvo la oportunidad de perfeccionar sus conocimientos de control y modelación en la industria del procesamiento de minerales en plantas australianas. También dictó, por cuenta del JKMRC, cursos para alumnos de postgrado, profesores e ingenieros, tanto en la Universidad de Queensland como en varias plantas australianas y de Papúa Nueva Guinea.

Entre los aportes que ha realizado en ingeniería, señala la aplicación de la teoría de control automático y modelación a plantas de procesamiento de minerales. Ha guiado muchas memorias, publicado trabajos de investigación en esa área y ha propuesto y dirigido varios proyectos de investigación. Muchos de estos proyectos de investigación y desarrollo los realizó conjuntamente con el ingeniero Aldo Cipriano, quien



fue su alumno y más tarde, obtuvo un doctorado en Alemania y ha sido profesor de la Pontificia Universidad Católica, donde llegó a ser Decano de Ingeniería y a ocupar otros cargos importantes.

Otro aporte fue el haber introducido en la docencia los Espacios de Producto Interno y como consecuencia, organizar sus cursos partiendo desde puntos de vista muy generales, pasando por las ciencias de la ingeniería, hasta llegar a ejemplos de aplicación práctica.

En la minería, fue el director general e investigador de un proyecto muy importante, uno de los primeros proyectos presentados en concursos FONDEF, que pertenecía a Conicyt; la Automatización en el Procesamiento de Minerales. En la realización de este proyecto había tres universidades: la Universidad de Chile (que lideraba el Proyecto), la Universidad Católica (con Aldo Cipriano) y la U. Técnica Federico Santa María (con Juan Yianatos). Además, había dos empresas participantes: Sonda, y Codelco con sus las plantas de Andina y El Teniente. En este proyecto cada universidad adoptó el diseño de prototipos. Guillermo González representando a la Universidad de Chile abordó el diseño y construcción de un prototipo de control de planta de molienda y de un prototipo de un sensor virtual de granulometría.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS

Entre los principales desafíos que ha tenido en su vida profesional y personal, señala la introducción de la computación digital en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. En esta actividad tuvo una sustancial participación. Cuando volvió con el grado de Master of Science, la FCFM había comprado el computador ER-56 en Alemania, que era el primer computador digital de estado sólido en Chile con transistores y circuitos impresos. Este fue diseñado y fabricado por Standard Elektrik Lorenz, una división de Standard Elektrik que estaba en Sttutgart. Los alumnos se referían a este computador como "Lorenzo", por su origen. El "Lorenzo" estuvo bajo su supervisión hasta que se traspasó al Centro de Computación.

La parte principal de su carrera como ingeniero, ha sido contribuir a la ingeniería a través de la docencia, la investigación y el desarrollo, hasta llegar a fabricar prototipos para ser desarrollados y transformados en productos industriales.

Sus aportes en la enseñanza de la ingeniería han sido numerosos. Entre ellos, la creación del área de computadores y control automático en el IIEE de la FCFM de la U. de Chile, a partir de 1960. Creó el laboratorio LCCA dedicado a esa área y cursos, que dictó.

En la Universidad de los Andes, ha realizado desde 2008 una actualización de lo que hizo anteriormente, aprovechando la experiencia adquirida en la U. de Chile. Creó un curso de pregrado y tres cursos de nivel de postgrado, un laboratorio

de control automático con cinco estaciones de trabajo y las correspondientes guías para la realización de las experiencias en control automático y modelación, entre muchas cosas.

Pero Guillermo González no se detiene, y es así como ha ido acumulando datos y hechos para compilarlos en una "historia personal" sobre la creación y desarrollo del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la U. de Chile.

Un aspecto muy importante en su vida, además de su familia, ha sido la música clásica. Durante su niñez, antes de los 9 años, en la única radio que había en su casa, escuchaba tangos, boleros y foxtrots. Hasta que un día, girando la perilla para cambiar de emisora, sorpresivamente escuchó una música maravillosa, distinta. Era el concierto Nº 10, para dos pianos y orquesta de W. A. Mozart. Desde ese momento cambiaron sus preferencias musicales.

Entre sus experiencias memorables, está el nacimiento de sus hijos. Tiene dos hijas y un hijo, todos mayores de 50 años, y además, tiene siete nietos.

Hay muchas cosas más que Guillermo González ha realizado en su vida y han quedado consignadas en la entrevista completa, de la cual esta reseña es sólo un resumen. Antes de despedirse, nos precisa que sus valores principales son la perseverancia y la constancia para conseguir sus metas. Se define como un agente de vanguardia, y a sus 86 años, no quiere detenerse.



GUILLERMO NOGUERA LARRAIN.

Entre el campo y la ingeniería.

Sus primeros recuerdos acerca de quiénes le inspiraron para ser ingeniero son para su padre, que nació el año 1898 y se recibió como ingeniero de la Universidad Católica en el año 1920; y también para su bisabuelo, que construyó un túnel desde un canal de regadío en las cercanías del Mapocho, entre los años 1870 y 1890. De ellos también heredó su amor por el campo.

Estudió en el Grange School y en el año 1957 se recibió de ingeniero civil de la Pontificia Universidad Católica. Se perfeccionó en Estados Unidos, en el Iowa State College, obteniendo el grado de Master of Science en 1957 y años después, en 1981, realizó Cursos de Postgrado en el Imperial College de Londres.

En el momento de hacer su Memoria de Título, descubrió que quería hacer algo relacionado con el campo y que, en una hacienda de familiares, existía la posibilidad de hacer un embalse para riego. Ello le permitió integrar agronomía con ingeniería.

Ingresó a Endesa y, en sus primeros trabajos profesionales, participó en los proyectos de los embalses de Laguna del Maule, La Invernada, Vega Larga y en las Centrales Cipreses, Isla, Rapel, Sauzalito, El Toro y Antuco, permaneciendo en la empresa hasta 1972. En paralelo, se desempeñaba como Profesor de Mecánica de Suelos, siendo muy apreciado por sus colegas y alumnos, por su acogedora personalidad y por sus notables contribuciones al progreso de su especialidad.

Le tocó vivir directamente el proceso de la Reforma Agraria, que marcó su vida, pues perdió parte de los campos familiares que compartía con sus hermanos. La situación política del país y su influencia en la agricultura familiar, lo llevó a vivir temporalmente, con su esposa e hijos, en Argentina, país en el que se incorporó como Ingeniero Geotécnico en Tecnoproyectos S.A. y participó en los proyectos de las Centrales de Alicura, Futaleufú y La Brava y en el estudio de los yacimientos para la construcción de la presa Yacyretá-Apipé.

Cuando se hizo el proyecto de la Central Futaleufú en Argentina, considerando que el río Futaleufú es un río chileno que nace en territorio argentino, atraviesa el Lago Yelcho y desemboca en el Pacífico, se le pidió a Chile que nombrara un representante que participara en el proyecto y aprobara la crecida del vertedero para poder replicar este modelo con Brasil, que estaba construyendo la Central Itaipú. Endesa



designó a Guillermo Noguera para ser el coordinador. De este modo continuó perteneciendo a Endesa pero trabajando en Argentina. Cuando comenzó el conflicto de Argentina con Inglaterra, renunció y volvió a Endesa en Chile, empresa en la que trabajó por 36 años.

En 1991, fundó EDIC Ingenieros, empresa de consultoría en ingeniería, con otros dos ingenieros, Gustavo Benavente y Eugenio Garcés. EDIC Ingenieros ha alcanzado un reconocido prestigio por su capacidad de realizar estudios y proyectos de gran envergadura. Actualmente es Presidente de esa Compañía.

Ha tenido una activa participación en la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD), institución en la que representó a Chile por 20 años, hasta el año 2013 y de la que fue Presidente del Capítulo Chileno.

Sus publicaciones técnicas en diversos Congresos sobre Mecánica de Suelos o Grandes Presas han sido numerosas y cubren variados problemas, en especial sobre los efectos sísmicos. Han sido presentadas ya sea en las Reuniones de ICOLD o en Congresos de la especialidad, en diversos países, como Sudáfrica, China, India, Noruega, Italia, España, Alemania, Brasil y Canadá.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS

Recuerda haber sido asesor del Banco Mundial en un proyecto en Etiopía. Los proyectos chilenos de represas, debido a la gran pendiente que existe entre la cordillera de los Andes y el mar, tenían similares problemas de filtración que en Etiopía. En la Laguna del Maule que iba a ser una presa de 108 metros de altura estaba estudiando las paredes moldeadas, cuando el Banco Mundial encontró una represa en Etiopía que también tenía un problema de filtración y entonces buscaron quien podría solucionar este problema. La única publicación que existía en la Comisión Internacional de Grandes Presas era una que nuestro entrevistado había hecho sobre la impermeabilización de Laguna del Maule. Entonces lo nombraron como asesor. Por ello viajó durante tres años, hasta tres veces al año a ese país africano.

El año 2003 recibió la Medalla de Oro del Instituto de Ingenieros de Chile. En esa oportunidad, el Presidente del Instituto de Ingenieros, Jorge Yutronic destacó como "una de las cualidades de su personalidad, su "permanente deseo de permanecer distante de un primer plano de la figuración", indicando además que "es un atributo que debemos apreciar en las personas que lo poseen y que lo ha distinguido en sus más de 60 años de notable y exitosa experiencia profesional". En esa misma ceremonia, Enrique d´Etigny, indicó que "Guillermo Noguera representa a aquel profesional que se ha destacado en los diversos campos del saber profesional, como académico, como ingeniero, como agricultor, y por sobre todo, como un gran caballero de la ingeniería nacional".

Además del Premio Medalla de Oro, Guillermo Noguera posee dos premios más otorgados por el Instituto: El Premio Marcos Orrego Puelma del año 1957 y el Premio Ramón Salas Edwards del año 1997.

A pesar de su intenso trabajo como ingeniero y académico, no ha abandonado su interés por la Agricultura, moviéndose en las áreas de Fruticultura, Lechería y Crianza de Equinos.

De su familia cuenta que tiene seis hijos, tres mujeres y tres hombres. El mayor de los hombres es artista, el segundo cría caballos y el tercero es arquitecto. Las tres hijas se casaron en Argentina y allí también nacieron sus nietos. No hay ingenieros entre sus hijos.

También recuerda haber sido jugador de rugby en sus tiempos de colegio, y después, en la universidad, haber jugado polo. Ahora aún continúa andando a caballo, uno de sus hobbies.

De los jóvenes ingenieros opina que tienen más medios que antes y que dependen mucho del computador; también cree que son bastante comprometidos al igual que las generaciones anteriores y por ello tiene fe en el futuro de la ingeniería en nuestro país.



IN MEMORIAM.

Ray W. Clough (1920 -2016), uno de los ingenieros más destacados del mundo

Por: Edward L. Wilson Prefacio por: Tomás Guendelman



Edward L. Wilson, Profesor Emérito de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de California, Berkeley

PREFACIO.

Con ocasión de la 16ª Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica, celebrada en Santiago de Chile en enero de 2017, tuve el honor de coordinar los homenajes que, varios de sus exalumnos, rindieron al profesor Ray W. Clough, fallecido en octubre de 2016.

Uno de los mejores, si no el mejor, fue Edward L. Wilson, profesor emérito de la Universidad de California en Berkeley, quien exhibe un impresionante currículum, en el que destacan sus extraordinarios aportes en ingeniería estructural y sísmica. De hecho, es el autor de los más importantes desarrollos de programas computacionales para el análisis y diseño de grandes y complejas estructuras, siendo SAP y TABS, entre muchos otros, los que se emplean en miles de oficinas de ingeniería estructural de todo el mundo.

Cuando Ray W. Clough inventó y acuñó el nombre "Método de elementos finitos", propuesto como un reemplazo del "Método de diferencias finitas", Ed fue el estudiante que desarrolló –bajo su dirección– el primer programa automatizado de elementos finitos utilizado para el análisis y diseño de la estructura de la presa de Norfork.

Mi relación profesional con Ed y Ray se remonta al año 1965, cuando luego de obtener mi postgrado en Berkeley, trabajé en T. Y. Lin and Associates, en Los Ángeles, California, por gestión directa de Ray, de quien fui su alumno de Dinámica Estructural. Ray y Ed eran consultores de la empresa y me brindaban asistencia permanente en mi tarea asignada, consistente en el desarrollo de un programa de análisis de estructuras enterradas tipo caja, sometidas a solicitaciones

IN MEMORIAM. RAY W. CLOUGH (1920 -2016), UNO DE LOS INGENIEROS MÁS DESTACADOS DEL MUNDO

dinámicas de diversa naturaleza. Este trabajo duró dos años y debo decir que, lo que aprendí de ellos, ha sido la principal contribución a mi actividad académica y profesional de más de cincuenta años.

Ed ahora está jubilado. Tiene cerca de ochenta y ocho años y, como en los viejos tiempos, me ha dado nuevas razones

para estar muy agradecido por su ayuda. En esta ocasión, me proporcionó el obituario que él y el profesor Jack P. Moehle escribieron a raíz del fallecimiento de Ray, permitiéndome su traducción y publicación en la presente edición de los Anales de la revista del Instituto de Ingenieros de Chile.

Tomás Guendelman B.

IN MEMORIAM RAY W. CLOUGH.

Edward L. Wilson y Jack P. Moehle Berkeley, 2018.

Ray W. Clough, distinguido Profesor Emérito de Ingeniería Civil, nació el 23 de julio de 1920 en Seattle, Washington y falleció el 8 de octubre de 2016, a la edad de 96 años. Su esposa Shirley le precedió en la muerte, acaecida el 17 de abril de 2016, luego de 74 años de matrimonio. Les sobreviven su hijo Douglas y sus dos hijas, Allison y Meredith, cinco nietos, dos bisnietos, y muchos sobrinos y sobrinas.

Ray fue reconocido como uno de los ingenieros y científicos más destacados del mundo. Junto a sus estudiantes en la Universidad de California, en Berkeley, crearon el Método de Elementos Finitos (FEM) para resolver problemas de mecánica de sólidos, demostrando que este procedimiento reemplazaba exitosamente al Método de Diferencias Finitas, el procedimiento matemático-computacional universalmente aceptado, previo a su investigación fundamental. Además, Ray, fue uno de los pioneros en la aplicación de nuevos métodos informáticos y análisis experimental para predecir el comportamiento de muchos tipos diferentes de estructuras sometidas a grandes movimientos sísmicos.

Siendo adolescente, a Ray le atraían las actividades de senderismo y de montaña de los Boy Scouts. Sin embargo, el Grupo de Boy Scouts al que pertenecía, no intentó escalar los picos de las montañas altas, por lo que Ray y sus amigos adolescentes decidieron formar su propio club, al que denominaron *Ptarmigan Climbing Club*, nombre inspirado en las pequeñas aves de montaña que se encuentran en el Pacífico Noroeste y en otras regiones montañosas. El principal objetivo del club era desarrollar técnicas seguras para escalar montañas altas donde las superficies eran una combinación de roca desnuda, nieve o hielo. El club tenía solo entre 20 y 30 miembros, de

los cuales uno, o más de ellos, podrían formar un grupo de escalada utilizando técnicas nuevas y más seguras. Pitones y cuerdas se utilizaron sólo por seguridad.

En 1938, Ray y otros tres jóvenes amigos planearon y realizaron un viaje de escalada de montaña de aproximadamente 10 días, 35 millas de escalamiento en las denominadas *Northern Cascades*. El viaje los llevó a ser los primeros en escalar seis picos de montaña. En la actualidad, la comunidad montañera de Seattle se refiere a este viaje como la Travesía *Ptarmigan* y todavía se considera un viaje desafiante, aunque actualmente se utilizan modernos equipos.

Los miembros de la familia de Ray y sus amigos cercanos creen que la impresión causada en él como miembro del Club *Ptarmigan* fue profunda. Esta exitosa aventura de adolescente le dio la confianza necesaria para atacar y resolver muchos complejos problemas en diferentes campos de la ingeniería.

Ray conoció a su esposa Shirley Potter, que era un año menor que él, en *Roosevelt High School*. Más tarde, ambos estudiaron en la Universidad de Washington, donde compartieron sus experiencias de senderismo y esquí en las cascadas y en el monte *Rainier*, con amigos de la universidad.

En octubre de 1942, Ray y Shirley se casaron. La vida profesional y familiar de Ray no estaban totalmente separados. El talento de Shirley para el diseño de interiores y habilidades en la cocina, siempre daban la bienvenida en su hogar a estudiantes de posgrado, colegas académicos, e ingenieros profesionales. Desarrollaron una larga lista de amigos de por vida, incluidos líderes internacionales en ingeniería estructural.

En 1942, seis meses después del inicio de la Segunda Guerra Mundial, Ray obtuvo la licenciatura en ingeniería civil en la Universidad de Washington. Intentó alistarse en el programa de construcción Naval *Seabee*, donde podría usar su educación en ingeniería, pero fue rechazado debido a problemas de visión, por lo que se fue a trabajar a la compañía aeronáutica *Boeing*, en Seattle.

La estabilidad en *Boeing* estaba garantizada solo hasta el final de la guerra, pero encontró que dicha actividad era muy pobre y que no constituía una forma productiva de pasar los años de guerra. Fue entonces cuando se enteró de que la Fuerza Aérea del Ejército de los Estados Unidos estaba desprovista en meteorología y que lo aceptarían, debido a que se consideraba que esa actividad no constituía una posición combatiente. Después de un entrenamiento básico, obtuvo una maestría en meteorología en el Instituto Tecnológico de California, *Caltech*. Concluido ese período, se convirtió en instructor de meteorología hasta junio de 1944. Para entonces, la Fuerza Aérea del Ejército tenía un excedente de meteorólogos, por lo que a Ray se le asignó la tarea de comandar un equipo de construcción del aeródromo.

En julio de 1945, el batallón de construcción de Ray estaba en un barco de tropas que viajaban desde Hawai a unirse a las actividades bélicas en el Pacífico y participar en la invasión de Japón. Durante la primera semana de agosto de 1945, no mucho después de que dejaran Hawai, se lanzó la bomba de Hiroshima, y cuando ya se dirigían a Japón, se produjo el lanzamiento de la bomba en Nagasaki.

Japón se rindió pocos días después, con lo que se dio término a la Segunda Guerra Mundial. Ray continuó hacia Japón y formó parte de la fuerza de ocupación en la isla de Okinawa, irónicamente, pues había sido rechazado en *Seabees* al comienzo de la Segunda Guerra Mundial. En Okinawa fue reasignado de inmediato a una unidad que estaba trabajando en la construcción de una pista de aterrizaje y de la torre de control de aviones.

En 1946, fue dado de alta de *Seabees*, a tiempo para ingresar al programa de posgrado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Mientras trabajaba para su doctorado en MIT, tomó un curso avanzado de aerodinámica, impartido por el profesor Raymond L. Bisplinghoff, cuya influencia lo acompañó por el resto de su vida. Completó su tesis sobre los análisis experimentales y teóricos de pandeo de arcos.

Después de recibir su grado de Sc.D. en 1949, se incorporó al Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de California, Berkeley. Durante los próximos 38 años, 34 de

sus estudiantes completaron sus doctorados bajo su dirección. Sus cursos fueron muy populares, atrayendo a estudiantes de ingeniería estructural y de muchas otras disciplinas. Según informes retrospectivos de varios de sus alumnos, Ray llegaba siempre muy bien preparado y en sus clases presentaba, de manera muy eficaz, una cantidad significativa de información práctica, en breves períodos de tiempo.

Estando ya en Berkeley, se le solicitó que desarrollara un curso de dinámica que permitiera a los ingenieros civiles diseñar estructuras sismorresistentes. Sin embargo, no se le proporcionó financiamiento adicional para realizar investigaciones de ingeniería sísmica, a pesar de lo cual, en unos pocos años publicó el documento sobre la importancia de los modos superiores de vibración en la respuesta sísmica de edificios altos ("On the Importance of Higher Modes of Vibration in the Earthquake Response of a Tall Building", Bulletin, Sociological Society of America, V. 45, N° 4, October 1955).

En los veranos de 1952 y 1953, trabajó en el grupo de análisis dinámico de *Boeing*, en Seattle. Este trabajo implicó modelar los elementos uniaxiales del "Ala Delta" con elementos tipo puntales tridimensionales (para conectar dos nudos), y la superficie del ala, con elementos de membrana triangulares o cuadrilaterales (para conectar tres o cuatro nudos, respectivamente).

La investigación de Ray involucró el desarrollo de elementos que predijeron con precisión los desplazamientos, con respecto a resultados experimentales. *Boeing* se refirió a este trabajo como el Método de Rigidez Directa, que era un método estándar de análisis estructural, en que los desplazamientos eran las incógnitas.

En 1956, Ray, Shirley y sus tres niños pequeños, pasaron un año sabático en Noruega, en el Instituto de Investigaciones de Navíos (*Ship Research Institute*), en Trondheim. Los ingenieros del Instituto estaban calculando las tensiones debidas a las vibraciones del barco para predecir fallas de fatiga en las zonas de concentración de esfuerzos. Es en ese instante cuando Ray se dio cuenta de que su elemento de investigación debería llamarse "Método de Elementos Finitos, (FEM)", con el que se podrían resolver muchos tipos diferentes de problemas de mecánica de medios continuos. Ray observó que FEM era un competidor directo del Método de Diferencias Finitas, (FDM), que se utilizó hasta ese entonces en *Boeing*, limitado solamente para calcular desplazamientos, no tensiones.

En el semestre de otoño de 1957, Ray regresó de su periodo sabático en Noruega e inmediatamente publicó una página en el fichero de anuncios de los estudiantes, pidiéndoles que se comunicaran con él, quienes estuvieran interesados??en

realizar una investigación de elementos finitos para el análisis de membranas, placas, cáscaras, y estructuras sólidas. Aunque Ray no tenía fondos para investigación destinada a elementos finitos, algunos estudiantes graduados, que disponían de recursos provenientes de otras fuentes, respondieron favorablemente.

En ese momento, la única computadora digital en la Facultad de Ingeniería era un computador IBM 701, fabricado en 1951, en base a tecnología de tubos de vacío. Podía resolver hasta un máximo de 40 ecuaciones lineales, por lo que, cuando Ray presentó su primer artículo de FEM, en septiembre de 1960, relacionado con análisis de tensiones en dos dimensiones ("The Finite Element Method in Plane Stress Analysis," at the ASCE 2nd Conference on Electronic Computation in Pittsburgh, Pennsylvania), la distribución de tensiones que obtuvo no fue muy precisa, por lo que la mayoría de los asistentes a la conferencia no se impresionaron mayormente.

Tras el aumento de la velocidad y la capacidad de las computadoras existentes en Berkeley, la siguiente publicación técnica consistió en el análisis de una presa de hormigón existente, empleando una malla muy fina de elementos finitos. El documento se presentó, por primera vez, en septiembre de 1962 en una conferencia de la OTAN en Lisboa, Portugal, y pocos meses después, contando con Edward L. Wilson, como coautor, se volvió a publicar, esta vez en el *International Bulletin RILEM*, Nº 10, en junio de 1963, de muy amplia circulación internacional.

La mencionada publicación se refirió a la presa *Norfork*, de 250 pies de altura, ubicada en Arkansas, en la que se había desarrollado una grieta vertical durante su construcción, en 1942. El análisis con elementos finitos predijo correctamente la ubicación y el tamaño de la grieta, producto de cambios de temperatura, y determinó desplazamientos y tensiones realistas, tanto en la presa misma, como en su fundación, para solicitaciones gravitacionales en conjunto con varias condiciones de cargas hidrostáticas.

Debido a esta publicación, muchos estudiantes internacionales y académicos visitantes vinieron a Berkeley a trabajar con el profesor Clough quien, además, les proporcionó, libremente, el listado en FORTRAN, del programa computacional desarrollado para estos propósitos, con el fin de que se utilizará para evaluar desplazamientos y tensiones en otras estructuras planas, de diferente geometría, materiales y solicitaciones. En esta forma, los ingenieros profesionales podrían usar fácilmente la nueva y poderosa herramienta para determinar los estados tensionales en sus problemas de análisis estructural relacionados con mecánica de sólidos continuos.

Ray no capitalizó su éxito en el desarrollo del método de elementos finitos, retornando a la tarea de crear el programa de ingeniería sísmica que se le asignó cuando fue contratado, en 1949, por la Universidad de California, con sede en Berkeley.

A principios de la década de 1960, los profesores Joseph Penzien y Ray Clough dirigieron a un equipo de docentes de Berkeley, con el fin de crear el Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica, EERC, en dicha sede de la Universidad de California. El primer proyecto de EERC fue el diseño y construcción de una mesa vibratoria de 20 por 20 pies, capaz de ensayar grandes estructuras sometidas a movimientos sísmicos realistas. Este fue, en su momento, el simulador de terremotos más sofisticado en el mundo, y sigue siéndolo en la actualidad.

Un aspecto notable del enfoque de Ray en la investigación de ingeniería sísmica fue su mirada equilibrada para la realización de experimentos físicos, tanto en el laboratorio como en terreno, con el objetivo de verificar y mejorar el desarrollo de métodos analíticos más precisos. Entre sus estudios de laboratorio destacan varias pruebas en la mesa vibratoria para explorar la respuesta dinámica no lineal de modelos de construcción de varios pisos (incluidas las primeras pruebas en edificios oscilantes), dinámica de estructuras con fluidos, y respuesta dinámica de presas.

En 1975, los profesores Clough y Penzien publicaron el libro Dinámica de Estructuras, ampliamente adoptado, y que tuvo un gran impacto en la educación de generaciones de ingenieros estructurales especializados en ingeniería sísmica. La segunda edición del libro continúa siendo requerida.

Ray viajó extensamente como pionero en esta rama de la ingeniería, habiendo examinado los daños causados??por los terremotos de Agadir, Marruecos y Chile de 1960, y el de Skopje, Yugoslavia, de 1964. En 1962 fue miembro de la misión de UNESCO en Sismología e Ingeniería Sísmica en el área mediterránea; de la delegación de los Estados Unidos en la reunión gubernamental de la UNESCO celebrada en París en 1964, relacionada con estos mismos temas; y miembro de la delegación de los Estados Unidos para inspeccionar investigaciones sísmicas en la U.S.S.R., en 1969. Además, sirvió en muchos paneles y consejos consultivos gubernamentales que representan las áreas técnicas de ingeniería sísmica y de dinámica estructural. Se desempeñó también como el primer editor de la revista *International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*.

A lo largo de su carrera profesional, fue contratado como consultor en complejos problemas estructurales relacionados con el diseño de centrales eléctricas, barcos, presas, edificios altos, torres de transmisión, plataformas de perforación mar adentro, proyectos aeroespaciales y problemas de interacción en estructuras de fluidos.

La investigación y contribuciones profesionales de Ray han sido reconocidas por muchas organizaciones internacionales y estadounidenses. Un resumen parcial de estos reconocimientos y premios obtenidos son los siguientes:

- 1968, elegido para la Academia Nacional de Ingeniería.
- 1979, elegido en la Academia Nacional de Ciencias.
- 1994, el Presidente de los Estados Unidos, Bill Clinton, le otorgó la Medalla Nacional de la Ciencia.
- 2006, recibió la Medalla Benjamin Franklin en ingeniería civil. En ese momento, él era el único ingeniero en cada grupo de estadounidenses, considerado para recibir la Medalla de Ciencia y la Medalla Franklin.

Sus premios internacionales incluyen:

- 1956-1957: Beca Fulbright.
- 1963-1964: Fraternidad en el extranjero, otorgada por el Churchill College, Universidad de Cambridge, Inglaterra.
- 1979: Doctor Honoris Causa de Tecnología, Universidad de Chalmers, presentado por el Rey de Suecia.
- 1982: Doctor Honoris Causa de Tecnología, Instituto Noruego de Tecnología, Trondheim.
- 1988: Medalla de la Asociación Internacional de Mecánica Computacional.
- 1987: *Berkeley Citation*, por logros distinguidos, y servicios notables a la Universidad.



ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Vol. 131, N° 2 - AGOSTO 2019

"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. 131, N° 2, agosto de 2019.

Contenido

QUÉ ES Y CÓMO ADMINISTRAR LA COMPLEJIDAD DINÁMICA EN LOS PROYECTOS MINEROS.

Redefiniendo el concepto de Incertezas en los Proyectos Mineros e incorporando herramientas para reducir la Complejidad Dinámica.

Jorge Pedrals.

Pág. 37

EMPUJE DINÁMICO EN ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN CON INCLUSIÓN COMPRESIBLE.

Claudia González B. y Miguel Romo O.

Pág. 63

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)

Daniela Pollak A., Sociedad Chilena de Geotecnia (SOCHIGE)

Juan Carlos Herrera M., 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.

QUÉ ES Y CÓMO ADMINISTRAR LA COMPLEJIDAD DINÁMICA EN LOS PROYECTOS MINEROS.

Redefiniendo el concepto de Incertezas en los proyectos mineros e incorporando herramientas para reducir la Complejidad Dinámica.

Jorge Pedrals 1

¹Ingeniero Civil de Minas de la Universidad de Chile. Magister en Historia de la Universidad Adolfo Ibáñez.

Resumen

En este artículo se revisa una serie de definiciones hechas en la academia y por empresas consultoras respecto de las definiciones de Proyecto, Objetivos y Metas, Complejidad, Incertezas y Riesgos para aplicarlas en la administración de los proyectos mineros, desde sus etapas de conceptualización hasta la de construcción. Esta revisión permite explicar el significado de la Complejidad Dinámica, tanto desde el punto de vista del Proceso de Aprendizaje, como de la relación entre los distintos elementos de un proyecto. Se redefine el concepto de Incertezas, de tal manera de vincularlo con el Proceso de Aprendizaje y, a partir de esto, realizar una definición de lo que significa la Complejidad Dinámica en el caso de los proyectos mineros. Para componer el concepto de Complejidad Dinámica se usan las definiciones de complejidad de Williams¹ y de Darnall- Preston².

A partir de la experiencia del autor, más de 30 años en posiciones gerenciales en la administración de distintos tipos de empresas, de los cuales 10 años han sido dedicados a la construcción de proyectos mineros de alta complejidad, se realizan recomendaciones respecto de tres temas. La primera de ellas es la definición del concepto Compra de Información en las etapas tempranas de un proyecto, lo que permite administrar las Incertezas, entendidas como³ aquellos hechos que pueden ocurrir en un proyecto, pero que están fuera de las "creencias y hechos" que tienen los modelos mentales de quienes los ejecutan. El segundo tema es el uso de la Geotechnical Baseline Report⁴, concepto utilizado en el mundo internacional de la construcción de obras subterráneas. Este tiene como objetivo principal delimitar las responsabilidades entre el mandante y el constructor. Sin embargo, en este artículo se extiende para capturar un Banco de Supuestos Claves, que dé al equipo de proyecto una herramienta para el manejo de las Incertezas como una variable objetiva (tanto desde el punto de vista de la caracterización del macizo rocoso, como de los temas socio – ambientales).

Finalmente, se plantea que, si bien usar los mejores estándares de la industria otorga mayor certeza en el buen término de un proyecto, el rol del Directorio en la definición del Apetito al Riesgo⁵, unido a la incorporación de un Comité Técnico que genere una tensión sana entre el Gerente del Proyecto y el Directorio como responsable final, será el mejor mecanismo para acompañar a los grandes proyectos y asegurar su éxito.

¹ Williams Terry, op. cit., pág. 50.

² Darnall, Russell et al, op. cit.

³ Perminova, Olga et al, op. cit., pág. 77.

⁴ Essex, Randall J., op. cit.

⁵ Enrione, Alfredo et al, op. cit., pág. 268.

1. Introducción.

El presidente de una importante empresa minera con presencia mundial, planteaba a sus accionistas en la entrega de resultados del 2018: "Operamos en un mundo donde no solo se incrementa la complejidad, sino también se cambia a un ritmo cada vez más acelerado y, de tal manera, que no es posible predecir". Esta declaración la realizaba algunos años después de haber reconocido una inversión de varios miles de millones de dólares en un proyecto, detenido por la autoridad por impactos al medioambiente.

Semanas atrás, un analista de una reconocida corredora de bolsa de Estados Unidos⁶ planteaba dudas respecto de la posición de CODELCO como primer productor de cobre a nivel mundial, indicando que, en los próximos años, podría caer de manera significativa participación. Lo anterior a la luz de los retrasos que han tenido sus provectos estructurales que, inicialmente, habían planeado su entrada en operación en una fecha más temprana. Además, la empresa estatal que representó casi un 80% de la producción nacional de cobre en la década de los 80, hoy sólo representa cerca de un 30%. Desde el punto de vista de los dueños y administradores de estas empresas, el denominador común es que, efectivamente, el mundo es cada vez más complejo, con respuestas difíciles de predecir y con una velocidad de cambios cada vez mayor.

Este artículo da por sentado que existen estándares⁷ de clase mundial, que son conocidos y ejecutados por todos los contribuyentes, con buenos resultados. Esto no quita que, de igual forma, existan defectos y desviaciones que pueden aumentar, a veces, su complejidad. Algunas de estas últimas tienen relación con mala comunicación o descoordinación entre áreas y desajustes de los perfiles de los profesionales requeridos. También con ambientes endogámicos, sin capacidad de mirar la realidad de manera más objetiva. Igualmente, con exceso de

burocracia, ambigüedades en las responsabilidades o en definiciones claves, poco involucramiento del Directorio en la definición del apetito del riesgo⁸ de la organización y otros. Todo esto contribuye a hacer difícil la construcción de los proyectos en una sociedad más atenta y con muchas partes interesadas con distintas perspectivas que las del proyecto.

Este artículo plantea que las empresas mineras debieran ajustar su forma de enfrentar los proyectos para manejar la Complejidad. Lo anterior implica redefinir algunos conceptos, entender nuevamente la gobernanza de los proyectos, así como incorporar otras herramientas.

También, este documento revisa cuáles son las principales características de los proyectos, para entender lo que plantea la academia respecto al Pensamiento y los Sistemas Complejos. A continuación, se enumeran aquellos elementos que muchos investigadores han estudiado y que contribuyen a la complejidad de los proyectos; para luego entender el concepto de Complejidad Dinámica y las dificultades de las personas en el Proceso de Aprendizaje. Se revisa la definición tradicional del concepto Incertezas (en el contexto de la administración de riesgos), para dejar aquella definida por O. Perminova⁹, que ayuda a desarrollar la idea de Complejidad en los Proyectos Mineros.

El Pensamiento Complejo¹⁰ ha tenido un desarrollo en distintos quehaceres del hombre contemporáneo y busca generar una flexibilidad en la forma de pensar para ser capaces de enfrentar las paradojas que se presentan en la sociedad, donde una lógica binaria no necesariamente da una solución adecuada a los problemas. El desafío en el manejo de la complejidad tiene relación con que en el mundo de los proyectos se necesitan certezas que permitan su construcción, con las menores desviaciones de plazo, costo y alcances. Las organizaciones deben ser capaces de manejar las paradojas que surgen, así como las incertezas no esperadas, en períodos de construcción que

⁶ https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-15/after-40-years-chile-copper-giant-is-struggling-to-stay-on-top

⁷ Por sólo poner algunos ejemplos las ISO 31.000 y sus definiciones para la administración del riesgo, las definiciones de la Independent Project Analysis (IPA) respecto entre otros temas el criterio de los Front End Loading en las etapas de un proyecto o algunos de los criterios de la Teoría de las Decisiones como el Analytic Hierarchy Process (Saaty, Thomas et al, *Decision Making*, University of Pittsbugh, 1994).

⁸ Enrione, Alfredo et al, *Directorio y Gobierno Corporativo*, Universidad de los Andes 2014, pág. 268.

⁹ Perminova, Olga et al, *Defining uncertainty in projects – a new perspective*, International Journal of Project Management 26, 2008.

¹⁰ Domingues, María et al, *Engineering complex systems applied to risk management in mining industry*, International Journal of Mining Science and Technology N° 27, (2017) pág. 612.

pueden llegar a más de diez años. Lo anterior sólo se podrá lograr con un gran foco en las etapas tempranas de los proyectos, pero con una gobernanza que tenga en consideración la Complejidad Dinámica, como una variable estratégica.

Teniendo en consideración la Complejidad Dinámica aplicada a proyectos mineros u obras subterráneas, en general, que está asociada a la caracterización del macizo rocoso y a la transferencia de los riesgos entre entidades que participan de su construcción, se desarrollan las herramientas de "Compra de Información" y el Geotechnical Baseline Report¹¹. Ambas herramientas se complementan para que, desde la conceptualización del proyecto hasta su construcción, se definan los supuestos claves que permitan la administración de las incertezas y la reducción de la Complejidad Dinámica.

La Compra de Información, tal como se explicará más adelante, permite generar una discusión en torno a los modelos mentales, hechos y creencias de los que administran el proyecto. Esto permite la definición temprana de un Banco de Supuestos Claves que será la herramienta para administrar las Incertezas durante la construcción del proyecto. La idea es realizar una descripción lo más objetiva del macizo rocoso, basada en la Compra de Información, lo que permite entre otras cosas traspasar parte de los riesgos al contratista de construcción, dejando las Incertezas en manos del equipo del proyecto. De esta forma se genera un ambiente más competitivo y equilibrado en los procesos de licitación.

Finalmente, se lleva la mirada a la Gobernanza de los proyectos, resaltando el rol del Directorio como el único ente capaz de definir el Apetito al Riesgo que se está dispuesto a asumir. Como el proyecto deberá navegar por distintos tipos de aguas más o menos turbulentas por largos períodos de tiempo, se plantea la necesidad de generar una mirada más interdisciplinaria e independiente del proyecto propiamente tal, incorporando un Comité Técnico. Este Comité debiera generar una tensión sana al equipo de proyecto, que ayude al Directorio a definir su

Apetito al Riesgo, entendiendo que el proceso de Gobernanza es una actividad continua desde la conceptualización hasta la puesta en marcha.

2. La Complejidad Dinámica de los proyectos y su relación con las Incertezas.

Características principales de los proyectos.

Los proyectos tienen una serie de características que los hacen únicos y distintos de las empresas en marcha. Estos tratan de materializar una inversión estudiada a nivel de ingeniería, con información reducida de lo que es la realidad, en un tiempo y presupuesto acotados, con un equipo de trabajo que no necesariamente ha trabajado junto antes y, habitualmente, en un entorno donde variados stakeholders tienen múltiples intereses. Estas características¹², generan condiciones que deben ser tomadas en cuenta para definir la estructura del proyecto desde sus etapas más tempranas de estudio, hasta cuando la inversión se comienza a materializar en terreno.

Conforme a Turner y Cochrane¹³ existen cuatro tipos de proyectos en los cuales los métodos de trabajo y/o los objetivos pueden estar bien o no definidos, generándose la¹⁴ Matriz de Métodos y Objetivos que se muestra en la Figura 1 siguiente.



Figura 1: Matriz de Métodos y Objetivos.

tratando de indicar que pequeños detalles en momentos claves harán la diferencia entre un proyecto exitoso y otro con dificultades.

¹¹ Essex, Randall J., *Geotechnical Baseline Reports for Construction, Suggested Guidelines*, American Society of Civil Engineers, 2007 (Second Edition).

¹² Sin mencionar el viejo proverbio que dice que por la falta de un clavo se perdió una herradura y, finalmente, se perdió un reino,

¹³ Turner, J. R. et al, *Goals and Methods Matrix: coping with projects with ill-defined goals and/or methods of achieving them*, International Journal of Project Management, Vol. 11 N° 2 May 1993.

¹⁴ Ibidem, pág. 95.

La caracterización de Tierra, Agua, Fuego y Aire trata de representar las dificultades en cada uno de los casos para definir los objetivos y métodos, asimilándolos en el caso del agua, a un flujo turbulento, con un marcado sentido de propósito, pero con un recorrido azaroso. En el del fuego, a una gran intensidad requerida para la definición del trabajo, que puede desvanecerse y, finalmente, en el del aire por su dificultad de ser capturado. A los ojos de estos autores, en el año 1993, la tierra representaba el elemento más concreto y fácil de capturar a lo cual, si se consideran las complejidades propias del Territorio y sus stakeholders, los proyectos de ingeniería han migrado hacia los tipos asociados con el agua, aire o fuego.

Puede existir la tendencia a pensar que los proyectos asociados a la explotación y beneficio de minerales obedecen a los proyectos del Tipo 1, exclusivamente, pero cuando tienen características de megaproyectos (inversiones alrededor de un billón de dólares) poseen componentes tales como temas medioambientales, tecnologías a considerar, mercado potenciales y otros, no solo caen en el Tipo 1. En el caso de los proyectos mineros se suman, a las complejidades propias de los proyectos grandes, las dificultades asociadas al reconocimiento del macizo rocoso unido a su interacción con los temas medioambientales, lo que dificulta la definición de los objetivos y métodos.

Estos mismos autores plantean que existe una secuencia lógica entre el propósito u objetivos del proyecto con sus alcances y de estos, a su vez, con la organización creada para su concreción. Se definen con posterioridad las variables Tiempo, Calidad y Costos; lo que se representa en la Figura 2 siguiente.

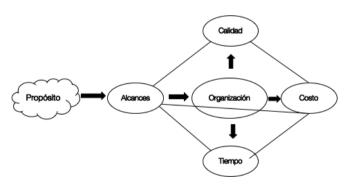


Figura 2: Cinco objetivos del proyecto, secuencia de definición.

15 Idem.

Esta estructura define algunos de los elementos esenciales de los proyectos, que los diferencian de las operaciones de producción ya instaladas¹⁵:

- El trabajo es único.
- La organización está creada para ese trabajo; es una nueva organización.
- Se produce un solo gran cambio, que se concreta un día en particular cuando el proyecto está terminado y entra en operación, pero está diseñado para que sea sostenible en el tiempo.
- El proyecto en muchas ocasiones debe compartir algunas restricciones impuestas por las operaciones, lo que obliga a acomodaciones importantes entre las distintas partes.
- En el caso de los grandes proyectos mineros existe un número importante de stakeholders involucrados.

Para que la estructura anterior tenga sentido, la Gobernanza, tempranamente, debe preocuparse de las siguientes tareas¹⁶:

- Crear una visión compartida para el proyecto, identificando su contexto, su propósito y sus objetivos,
- Centrar la atención del equipo en el propósito del proyecto y el método para lograrlo,
- Obtener la aceptación de los planes, definiendo el alcance del trabajo, la organización y las limitaciones de calidad, costo y tiempo,
- Lograr que el equipo funcione, acordando su modo de operación y los canales de comunicación.

La Independent Project Analysis (IPA) ha definido la Business and Engineering Aligment Meeting (BEAM) como la reunión esencial al inicio de un proyecto, de tal manera de poner al equipo en un entendimiento común de las necesidades de éste, al término del FEL 1 (Front End Loading o puerta de aprobación de la primera etapa del proyecto).

Un proyecto para los efectos de programación y planificación se divide en tres estructuras específicas¹⁷, que deben ir tomando forma, gradualmente, hasta cuando se decide el inicio de su construcción:

i. Product Breakdown Structure (PBS): corresponde a una "cascada" de entregables en los cuales el proyecto puede ser subdividido, con una serie de subsistemas y sus distintas partes.

¹⁶ Ibidem, pág. 96.

¹⁷ Ibidem, pág. 95.

- ii. Organization Breakdown Structure (OBS): corresponde a la definición de los recursos requeridos, indicando los tipos de especialidades, tipos de actividades, etc.
- iii. Work Breakdown Structure (WBS): corresponden a¹⁸ "elementos o ítems de trabajo comunes, que logran un método integrado de administración y control del proyecto", que permita "a una persona o a un pequeño grupo, típicamente no especializado, tener un adecuado control sobre éste".

Se puede resumir¹⁹ que el Proyecto corresponde al WBS desarrollado por los recursos y habilidades definidas en el OBS, mientras que las Facilidades o Instalaciones corresponderán al listado de elementos del PBS.

La forma de realizar las definiciones, en el caso de la industria minera, es muy tradicional; del tipo "bottomup", conforme a las definiciones de los autores²⁰, asimilando los proyectos a los del Tipo 1. Por ello se corre el riesgo de aplicar los mismos modelos mentales una y otra vez, aunque algunas de las condiciones hayan cambiado y esto sea motivo de dificultades posteriores.

Los Sistemas Complejos.

Conforme a T. Williams²¹, un Sistema Complejo es aquel que está compuesto por un gran número de partes que interactúan entre sí, con algunas de ellas interdependientes, donde el todo es más importante que cada una de las partes. El comportamiento del sistema va más allá que la suma de sus partes, dado lo cual las posibles respuestas a las "entradas" que se hagan al sistema en construcción, resultan difíciles de predecir a priori. Las relaciones entre las partes se pueden dar de distintas maneras²²:

- De manera discreta: donde cada parte contribuye con un elemento especial al "todo", sin que se produzcan otras relaciones entre los elementos.
- Secuencialmente interdependiente: donde la "salida" de un elemento es la "entrada" del siguiente y así sucesivamente. Esta secuencia no considera un proceso recursivo.
- Secuencialmente dependiente: donde, a diferencia de la anterior, sí existen procesos recursivos entre las entradas y salidas de cada elemento, pudiendo ser una mezcla de las

relaciones discretas y secuenciales, pero con un proceso recursivo.

A la definición de este Sistema Complejo se debe sumar que algunos de estos elementos podrían estar en un proceso de cambio respecto de un primer diseño, ya sea programado con anticipación o no programado, con lo cual la relación entre ellos no estará en un equilibrio que permita sacar conclusiones. Si bien los cambios en los proyectos, cuando están en construcción, no son queridos y tratan de ser evitados, no es posible cerrarles las puertas; por ende, deben ser regulados y controlados conforme lo establecen las mejores prácticas, aunque más conscientes respecto de la Complejidad Dinámica. La modificación de un elemento lo cambia a él y a su relación con el todo, generándose la Complejidad Dinámica del Sistema lo que se aborda en los Capítulos siguientes.

Conforme al referido autor²³, la Complejidad Dinámica de los proyectos tiene relación con dos dimensiones, una estructural y otra relacionada con las incertezas, conforme se muestra en la Figura 3 siguiente.

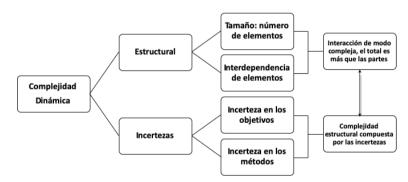


Figura 3: Complejidad Dinámica: Estructural e Incertezas según T. Williams.

¹⁸ Serpell, Alfredo, *Planificación y Control de Proyectos*, Ediciones Universidad Católica de Chile, Santigo, Chile, 2001, pág. 38.

¹⁹ Turner, J. R. et al, op. cit., pág. 96.

²⁰ Turner, J. R. et al, op. cit.

²¹ Williams Terry, *Modelling Complex Projects*, John Wiley& Sons, Ltd., UK 2002, pág. 50.

²² Ibidem, pág. 52.

²³ Ibidem, pág. 58.

Elementos que contribuyen a la Complejidad Dinámica de un proyecto.

En un estudio específico de provectos, los autores Bosch-Rekveldt et al²⁴, además de revisar la bibliografía existente respecto del tema Complejidad, en general, realizaron una encuesta a varios ejecutivos de seis proyectos (tres de cada uno), en distintos ámbitos, contrastando los resultados de sus encuestas con lo indicado en la bibliografía. Los provectos seleccionados fueron de tamaños entre USD20 y 600 millones de inversión, ubicados en diferentes continentes, con un solo dueño v otros con ioint ventures, cubriendo esta investigación todos los aspectos, desde su inicio hasta la puesta en servicio. Junto con contrastar el resultado de las encuestas con lo que indica la literatura, los autores mencionados clasificaron las variables detectadas en tres provecto: propios de un técnicas, aspectos organizacionales y del entorno; determinando 14 categorías que aportan complejidad en los grandes proyectos, conforme a la Tabla 1 siguiente.

Aspectos Técnicos (T)	Aspectos Organizacionales (O)	Aspectos del Entorno (E)	
Objetivos	Tamaño	Riesgos	
Alcances	Recursos	Stakeholders	
Riesgos	Riesgo	Ubicación	
Tareas	Equipo de proyecto	Condiciones de mercado	
Experiencia	Confianza		

Tabla 1: Categorías definidas en TOE.

Dentro de cada una de estas familias los autores incluyen cincuenta elementos detectados como potenciales contribuyentes a la Complejidad Dinámica. Nueve de ellos están presentes en los seis proyectos estudiados²⁵:

- Cuán novedosa es la tecnología considerada y la experiencia del equipo que participa en ella (categoría Experiencia de los Aspectos Técnicos).
- La cantidad de interesados en el proyecto, empresa, equipo, comunidades, gobierno y otros, que aportan con distintas visiones, algunas de ellas contradictorias con sus objetivos (categoría Stakeholders, de los Aspectos del Entorno).
- La disponibilidad de recursos materiales y humanos requeridos, ya que el equipo, por ejemplo, podría no tener las especialidades necesarias o, lisa y llanamente existir un desajuste entre su real experiencia respecto de lo antes

- definido (categoría Recursos de los Aspectos Organizacionales).
- Distintos tipos de gestión, herramientas o metodologías para la administración de un proyecto (categoría Tamaño, de los Aspectos Organizacionales).
- El uso de distintos tipos de contratos con empresas constructoras que comparten un mismo entorno (categoría Recursos dentro de los Aspectos Organizacionales).
- Interrelación entre los nuevos procesos del proyecto, con los ya existentes, incorporando con esto un stakeholders adicional, con un gran peso en sus decisiones (categoría Tareas de los Aspectos Técnicos).
- Confianza en el contratista elegido, así como en los recursos y la contraparte del equipo del proyecto, conjunto que deberá soportar los embates de la realidad (categoría Confianza de los Aspectos Organizacionales).

Seleccionando aquellos otros elementos que citan los autores, los que contienen el 77% de los elementos pesquisados y presentes en al menos 4 de los 6 proyectos estudiados, se puede confeccionar la Tabla 2^{26} .

TOE	Categoría	Elemento	Explicación
T	Alcances	Incertezas en los alcances	¿Hay incertezas en los alcances?
0	Recursos	Experiencia entre las partes involucradas	¿Existen experiencias comunes entre las distinta: partes involucradas en el proyecto?
0	Recursos	Temas de Salud, Seguridad, Riesgos y MA	¿Están todas las partes del proyecto conscientes de la importancia de los temas SSO, Riesgos y Medio Ambiente?
0	Equipo de proyecto	Cooperación entre socios del JV	¿Cooperan entre los miembros del JV?
0	Confianza	Confianza en el equipo de proyecto	¿Existe confianza en el equipo de proyecto?
E	Stakeholders	Influencia política	Unfluencia el entorno político al proyecto?
Т	Tareas	Número de diferentes normas y estándares	¿Hay conflictos entre diferentes normas y estándares específicos?
0	Equipo de proyecto	Número de nacionalidades	¿Cuál es la cantidad de diferentes nacionalidades que hay en el proyecto?
E	Stakeholders	Dependencia de otros stakeholders	¿Cuál es el número y naturaleza de dependencias de otros stakeholders?
E	Condiciones de mercado	Nivel de competencia	Relacionado con aspectos del mercado
E	Stakeholders	Soporte interno de la empresa	¿Existe soporte interno para el proyecto en la empresa?
E	Riesgos	Riesgos desde el medioambiente	¿El proyecto está amenazado por riesgos que puedan venir de lo medioambiental?
Т	Riesgos	Riesgos técnicos	¿El proyecto está amenazado por riesgos que puedan venir de riesgos técnicos?
Т	Tareas	Variedad de tareas	¿Cuál es el número de tareas involucradas?
T	Objetivos	Alineamiento de los objetivos	¿Están los objetivos del proyecto alineados?
0	Tamaño	Número de localizaciones geográficas	¿Cuántas localizaciones tiene el proyecto considerando las del contratista?
Т	Tareas	Dependencia entre tareas	¿Cuál es el número y naturaleza de la dependencia entre tareas?
0	Tamaño	Tamaño del equipo de proyecto	¿Cuántas personas tiene el equipo de proyecto?

T: técnicos, O: organizacionales y E: entorno. Tabla 2: Elementos que incorporan Complejidad Dinámica.

Con la intención de poder sistematizar el análisis de la Complejidad Dinámica en los proyectos mineros es conveniente citar el "Índice Darnall – Preston²⁷". Estos

²⁴ Bosch-Rekveldt, Marian et al, *Grasping Project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework*, International Journal of Project Management, N° 29 (2011), págs. 728 – 739.

²⁵ Ibidem, pág. 736.

²⁶ No se han citado algunos elementos de la literatura especializada, como por ejemplo número de objetivos y la duración del proyecto, dejándose sólo aquellos detectados en los 6 proyectos estudiados.

²⁷ Darnall, Russell et al, *Project management from Simple to Complex*, Libraries – Publishing, University of Minnesota, 2010, pág. 65.

autores a diferencia de Bosch – Rekveldt plantean 4 familias de temas, dividiéndolos en:

- i. Externa: son los atributos ambientales que existen al inicio del proyecto, tales como el tamaño, la duración y los recursos disponibles.
- ii. Interna: relacionado con la claridad de los objetivos del proyecto, la claridad del alcance, la complejidad de la organización y el o los acuerdos existentes entre los interesados, en línea con la matriz planteada por Turner – Cochrane.
- iii. Tecnológica: cuán novedosa es la tecnología y que familiaridad existe de los miembros del equipo con esta tecnología.
- iv. Aspectos ambientales y de Sustentabilidad: los aspectos jurídicos, culturales, políticos y ecológicos.

Estos autores usan el término de la Tecnología asociado a fabricación del producto y no a sus etapas de proyecto propiamente tal. En el caso de los proyectos mineros se adaptará con una perspectiva más amplia, tanto relacionado con la tecnología que se usa para su construcción, como con la que se usa en la etapa de producción, incluyendo dentro de esta dimensión, las técnicas de beneficio del mineral y las de producción del mineral en la mina.

Dentro de cada una de estas dimensiones, estos autores definen temas complementarios o análogos a los elementos citados precedentemente, formando la estructura que se muestra en la Figura 4 siguiente.

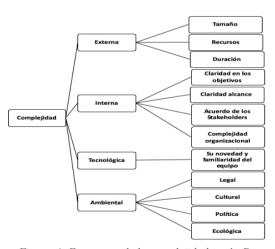


Figura 4: Estructura de la complejidad según Darnall – Preston.

Los provectos requieren que, a partir de una evidencia confiable, se puedan realizar diseños que luego deben ser construidos en tiempos acotados y cumplir en ese tiempo con un programa y alcances en términos de la calidad de las instalaciones para la producción de ciertos elementos. Todo esto con un presupuesto determinado. Conforme a J. Sterman²⁸, las personas tienden a un exceso de confianza en sus juicios y en cierta medida tienen un pensamiento ilusorio, donde evalúan los resultados deseados como más probables que los resultados no deseados. Además, existe cierta tendencia a atribuir el comportamiento de las personas a factores propios de ellas, más que a factores asociados a su entorno. Se suma a lo anterior que los provectos deben realizar supuestos basados en elementos no del todo conocidos, sobre los cuales la capacidad de hacer ensavos o pruebas es acotada, así como las conclusiones que de ellas se obtengan, lo que genera un panorama donde las incertezas pueden ser más que las certezas.

Tal como se indica anteriormente, un sistema complejo está compuesto por un gran número de partes que interactúan entre sí, con distintos grados de dependencia. A lo anterior se suma que en el caso de los proyectos²⁹ no sólo están las acciones del "equipo de proyecto" y sus stakeholders más cercanos - en teoría alineados con los objetivos del proyecto, sino también las acciones de otros agentes, con objetivos distintos. En algunas oportunidades estos agentes tienen objetivos totalmente opuestos a los del proyecto, lo que genera efectos colaterales, adicionales a las acciones del equipo de provecto. Si se suma que desde el inicio de la ingeniería hasta la puesta en marcha pueden pasar 10 años, se estará en presencia de un sistema no sólo complejo, sino que de una Complejidad Dinámica; donde se requiere de una organización con actitudes especiales para aprender y aplicar lo aprendido en el proyecto.

El Proceso de Aprendizaje en las organizaciones se produce mediante la retroalimentación³⁰, generándose un proceso de "un bucle", basado en retroalimentación

La Complejidad Dinámica y las dificultades para aprender dentro de ella.

²⁸ Sterman, John, *Learning from Evidence in a Complex World*, American Journal of Public Health, March 2006, Vol. 96, N° 3, pág. 505.

²⁹ Ibidem, pág. 508.

³⁰ Ibidem, pág. 509.

simple, que modifica las acciones y de un "doble bucle", cuando la retroalimentación no sólo cambia las acciones. sino también los modelos mentales de las personas v organizaciones, conforme se muestra en la Figura 5 siguiente. El aprendizaje se producirá no sólo por la retroalimentación que tenga el sistema, sino también dependerá, de manera importante, de una serie de aspectos blandos tales como: normas culturales, reglas establecidas, algunas de ellas condicionadas por estructuras organizacionales; todas ellas modelando o modificando los modelos mentales de las personas y del grupo. El proceso de un bucle antes mencionado, "apela" a los modelos mentales y grupales existentes, lo que entendemos y sabemos de lo que nos rodea – dejando las posibles incertezas fuera de ellos, conforme se definen más adelante. El proceso de bucle doble se produce cuando, como consecuencia de expectativas v percepciones que no se alcanzan, se deben cambiar los modelos grupales y con esto generar nuevos criterios para las reglas v. así, nuevas estrategias. A través de este segundo bucle, con la misma información que se estaba recibiendo antes, ahora se toman decisiones distintas, con un aprendizaje más profundo. Para que esto se produzca debe ocurrir un ciclo completo de: toma de decisiones retroalimentación – nuevas decisiones, con todas las consecuencias de prueba y error posibles.

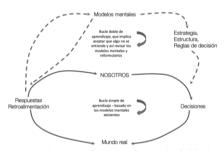


Figura 5: Proceso de aprendizaje de doble bucle.

Una de las dificultades que enfrentan las organizaciones, tiene relación con que podemos estar recibiendo información que amerita el proceso de doble bucle, pero no nos damos cuenta. Esto puede ocurrir debido a muchos temas: ambientes endogámicos, miedo, percepción selectiva que descarta algunos hechos, etc. La

postergación de este proceso de doble bucle, puede ser causa de grandes problemas y no es tan difícil que ocurra. Dada la tremenda cantidad de información que se maneja en el mundo moderno, en el ámbito de los proyectos, al igual que en los problemas de la sociedad en general, las personas están forzadas a simplificar los modelos y así poder tomar decisiones a tiempo. Conforme a J. Sterman³¹, lo anterior generará errores que se cometen como consecuencia de una "racionalidad acotada y percepciones erróneas en la retroalimentación".

En el mundo de la ingeniería y de los provectos, la generación de modelos virtuales de la realidad, más ensayos o experimentos a escalas industriales permiten acelerar el proceso de aprendizaje conforme se puede observar en la Figura 6 siguiente³². El doble bucle, antes indicado, se acelera en el tiempo. Esto se debe a que se pone, en paralelo al mundo real, un mundo virtual, permitiendo el manejo de modelos más simples, capaces de reproducir, en parte, la realidad que se está modelando. a velocidades muy altas, apuntando así a tomar decisiones oportunas. Un ejemplo de esto son los desarrollos de modelos geológicos y geotécnicos, los que unidos a modelos matemáticos, permiten predecir desde el comportamiento del macizo rocoso, hasta los posibles resultados económicos y financieros del proyecto. Pese a esta "facilidad", existen situaciones que no son capaces de ser simuladas en estos modelos, lo que unido a la "trampa de los video juegos", hace que a veces se juegue mucho y se piense poco³³.

En la Figura 6 grafican los dos bucles del aprendizaje, dejando definido el primero de ellos como el Espacio de la Trampa del Videojuego, donde se puede jugar mucho y pensar poco. Más adelante se volverá sobre este proceso de aprendizaje para fijar la atención en la generación del Banco de Supuestos Claves, el que originalmente obtenido al inicio con un set de modelos mentales del equipo de proyecto, debiera generar un nuevo Banco de Supuestos Claves en función del aprendizaje que se haga de las situaciones que el proyecto enfrente.

³¹ Ibidem, pág. 510.

³² Ibidem, pág. 512.

³³ Una de las enfermedades que plantea el autor existen en el mundo de los modelos virtuales tiene relación con el síndrome de los video juegos, "se juega mucho y se piensa muy poco".

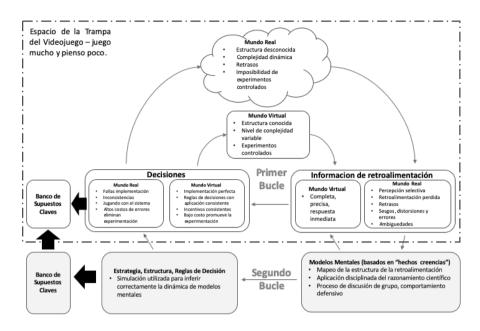


Figura 6: Proceso de aprendizaje de doble bucle, con apoyo del mundo virtual.

Redefinición de las Incertezas y su contribución a la Complejidad Dinámica.

Este acápite busca redefinir la palabra Incerteza en los proyectos mineros, de tal forma de generar estrategias que permitan su administración a lo largo de las distintas etapas de ingeniería hasta el proceso de construcción y puesta en marcha. Para esto se debe entender el vínculo de las Incertezas con los riesgos, y así redefinir la contribución de las Incertezas a la Complejidad Dinámica de los proyectos.

Respecto de la palabra riesgo existen diversas definiciones:

- Conforme a la Guía PMBOK³⁴ "un riesgo de un proyecto es un evento o condición incierta, que, si ocurre, tiene un efecto negativo o positivo en al menos uno de los objetivos, tales como tiempo, costo, alcances o calidad".
- Por otro lado, el mismo PMBOK³⁵ indica que Apetito al Riesgo es el grado de incertidumbre que una entidad está dispuesta a aceptar, con miras a una recompensa".
- La ISO 31.000³⁶ para la Gestión de Riesgos plantea que "riesgo es el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos".

Las definiciones de riesgo llevan implícita la palabra Incertezas, indicando un autor³⁷ que "el riesgo tiene que ver con la incertidumbre, y con cuanta información se tiene sobre una situación. Cuanta mayor información haya, el riesgo es menor", con lo cual los riesgos son una consecuencia de las incertezas.

La autora Perminova³⁸ describe las definiciones que han hecho varios autores para Incertezas:

- Desde la Teoría de la Organización se representa la incertidumbre como "emanada de un conjunto de características ambientales objetivas no medidas (y quizás algunas no medibles)".
- "Una condición del entorno del que toma las decisiones de tal manera que le resulta imposible asignar una probabilidad a los posibles resultados de un evento", lo que es parte de la Complejidad Dinámica, ya que en los proyectos existen elementos secuencialmente dependientes que tendrán un grado de Incertezas asociadas al término de cada uno de ellos. En este caso, la imposibilidad de asignar una probabilidad de ocurrencia a un evento determinado, se debería a que no existen "reglas del juego" del todo

³⁴ Perminova, Olga et al, *Defining uncertainty in projects – a new perspective*, International Journal of Project Management 26, 2008, pág. 74.

³⁵ Fundamento para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK), Quinta edición, Project Management Institute, 2013, pág. 530.

³⁶ https://www.isotools.cl/guia-iso-31000-para-la-gestion-de-riesgos/

³⁷ Buchtik, Liliana, *La Gestión de Riesgos en Proyectos*, buchtikglobal, 2012, pos. 848 de 8346.

³⁸ Perminova, Olga et al, op. cit., pág. 75.

- conocidas. Conforme a esta definición, las Incertezas podrían ser una potencial amenaza aún más grande que los riesgos, cuyas probabilidades sí pueden ser calculadas.
- Desde el mundo de la sicología se plantea que las Incertezas tienen relación con "un estado mental caracterizado por una falta de conciencia acerca de los posibles resultados de un evento", donde las "Incertezas existen en las mentes de personas que dudan". Con esta definición, se plantea que no sólo el entorno puede generar situaciones de incertezas, sino que dentro del mismo equipo de proyecto se pueden dar situaciones de incertezas dadas las reacciones de las personas como respuestas a situaciones del entorno.

Teniendo en consideración la vinculación de los riesgos con las incertezas, Perminova³⁹ plantea un principio pragmático donde todas las creencias o hechos (lo que hemos llamado en la Figura 6. Modelos Mentales – basados en "hechos y creencias" que dan paso al "Banco de Supuestos Claves)" son falibles, pero cuestionarlos requiere un argumento contrario, es decir, otro hecho o creencia. Por lo tanto, se puede argumentar que mientras el riesgo se relaciona con el cálculo de probabilidades basado en ciertos hechos, la incertidumbre se refiere a si estamos seguros de ciertos hechos. A partir de este pensamiento, la autora plantea⁴⁰ que las incertezas son "un contexto para la existencia de riesgos, como eventos que pueden tener un potencial impacto negativo en los resultados del proyecto, u oportunidades, como eventos que pueden tener un impacto positivo en algunos de los objetivos del proyecto".

Finalmente, esta autora plantea⁴¹:

La incertidumbre se produce en un ámbito donde puede ocurrir un evento o una situación que no se esperaba que ocurriera, independientemente si hubiera sido posible considerarlo por adelantado. En otras palabras, la incertidumbre se puede generar cuando se cuestionan los hechos establecidos y, por lo tanto, se cuestiona la base para calcular los riesgos (eventos negativos conocidos) u oportunidades (eventos positivos conocidos).

La importancia de esta definición tiene relación con que las Incertezas se dan más allá de lo que tradicionalmente la Administración de Riesgos toma como su campo de acción. Se darían fuera de los Modelos Mentales y Grupales de los equipos de proyecto – debiéndose definir ciertas dinámicas nuevas que permitan gestionarlas.

La minería ha desarrollado una serie de herramientas que permiten elaborar y aplicar modelos que ayudan a predecir el comportamiento del macizo rocoso durante la construcción, así como también los resultados metalúrgicos de los procesos de recuperación de los minerales. Todo esto, unido a la modelación de los temas ambientales en debida consideración de la legislación vigente, pero arbitrados por distintos stakeholders. Estos modelos se apoyan en una serie de datos, información y trabajos realizados por equipos de profesionales, a los que Perminova llama "hechos o creencias", citados anteriormente como Modelos Mentales. Durante el proceso constructivo, poco a poco, se irán develando en la forma de nuevos datos o problemas, información que pondrá a prueba estos "hechos y creencias" (que más adelante llamamos Banco de Supuestos Claves - ver Figura 16), lo que reafirmará la comprobación de los modelos, o alternativamente, problemas complejos que no tienen una explicación – los que podrán requerir ser revisados. En el caso de los proyectos mineros, este es el concepto de Incertezas que se quiere redefinir, lo que obliga a las organizaciones a mirar la "realidad" de manera distinta, o sea a organizarse de una manera distinta para ser constantemente más críticos.

Finalmente, es importante recalcar que⁴² las incertezas son una característica importante de los procesos evolutivos, dado lo cual la capacidad de las organizaciones para entenderlas y administrarlas y así convertirlas en oportunidades, es una característica de las organizaciones que serán capaces de sobrevivir a los entornos cada vez más cambiantes.

³⁹ Citando a Putnam, Hillary, *Pragmatism: an open question*, Cambridge, MA., Blackwell; 1995.

⁴⁰ Perminova, Olga et al, op. cit., pág. 76.

⁴¹ Ibidem, pág. 77.

⁴² Ibidem, pág. 78.

En síntesis: ¿Qué es la Complejidad Dinámica en los proyectos mineros?

El MIT Management Sloan School plantea que, la dificultad para administrar los megaproyectos, tienen relación con⁴³ "desafíos técnicos, cambios en las especificaciones y en los diseños, incremento de los costos, disputas respecto de las responsabilidades y nuevas regulaciones"; creándose entonces ambientes de incertezas.

¿Es posible generalizar y buscar cuáles son los elementos comunes que aportan a la Complejidad Dinámica de los proyectos mineros, variables sobre la cual pone acento este artículo?

Este análisis se hará desde una perspectiva positivista, en el sentido que, si una organización cuenta con las personas y los recursos materiales adecuados, junto a la aplicación de los mejores estándares existentes, sí será posible evitar o haber evitado algunos de los problemas que se citan como ejemplos en la introducción de este artículo.

Tomando como base la Figura 3 propuesta por Williams⁴⁴, unida a la definición de "Incertezas" de Perminova y aquellas dimensiones propuestas en el "Índice de Darnall- Preston", es posible definir las variables de la Complejidad Dinámica de los proyectos mineros, conforme a la Figura 7 siguiente.

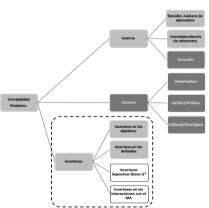


Figura 7: Variables de la complejidad en proyectos mineros.

En esta Figura se han coloreado en celeste las dimensiones definidas por Williams, con verde los temas agregados del índice de Darnall-Preston o mencionados

por O. Perminova, y con blanco aquellos incorporados, específicamente, para los proyectos mineros, los que tienen relación con la caracterización del macizo rocoso y las interacciones con el medioambiente.

El orden dado a estas dimensiones respeta, de alguna forma, la idea de Williams de una complejidad estructural, a la cual llamamos Interna, agregando una dimensión relativa al Entorno; dejando explícita la dimensión de Incertezas, que contribuye de manera importante a la Complejidad Dinámica.

La Figura 8 muestra los temas levantados en el trabajo de Bosch — Rekveldt presentes en todos los proyectos analizados (en color verde claro), no mostrados en la Figura anterior, los que se entienden implícitos en algunas de las dimensiones consideradas. En esta Figura 8 sólo se grafican las relaciones más fuertes entre estos elementos para simplificar el análisis.

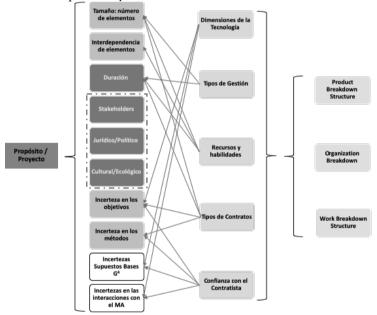


Figura 8: Correspondencia entre variables de la complejidad con los elementos obtenidos por Bosch-Rekveldt.

Las dimensiones de los Stakeholders, Jurídico/Político y Cultural/Ecológico cruzan todo el proyecto, dado lo cual no se muestran las relaciones con las otras dimensiones. De igual forma, las variables que corresponden a la

⁴³ Davies, Andrew et al, *Five Rules for Managing Large, Complex Projects*, Fall 2017, Volume 59, Issue # 1, September 12, 2017.

⁴⁴ Williams, Terry, op. cit., pág. 58.

Complejidad Interna, afectan a otras que tienen relación con el Entorno y viceversa.

Uno de los elementos que diferencia a los proyectos mineros y de infraestructura (túneles, caminos, etc.), respecto de otros, tiene relación fundamentalmente con:

- La caracterización del macizo rocoso y cómo éste afecta los métodos constructivos.
- Los procesos de producción del mineral y su posterior beneficio.
- La relación de la construcción y la posterior operación con los temas medioambientales.

En la dimensión "Supuestos Bases G4" están contenidas las ciencias de la tierra (Geología, Geomecánica, Geotecnia y Geofísica), todas ellas necesarias para comprender las características del macizo rocoso y su futura interacción con el medioambiente, con los equipos de construcción y, finalmente, con las plantas de tratamiento. Esta dimensión durante el proceso constructivo será una de las fuentes importantes que contribuyen a la Complejidad Dinámica de los proyectos, en parte por un tema relativo a los límites de responsabilidad entre distintos actores que intervienen en la construcción, tema que se desarrolla con más detalle en el Capítulo 4.

3. La Compra de Información para la caracterización del macizo rocoso y la interacción con el entorno.

Una de las características distintivas de los grandes proyectos mineros, que aporta a la Complejidad Dinámica y a las Incertezas, tiene relación con determinar características del macizo rocoso comportamiento frente al proceso de construcción y la fase de producción. Las respuestas del macizo rocoso van desde una escala micro, por ejemplo, las velocidades de perforación (en los ciclos de perforación y tronadura), hasta una escala macro, donde las respuestas de la roca pueden ir desde las deformaciones de las cavidades en construcción, hasta relajaciones súbitas como son los estallidos de roca, o presencias no consideradas de flujos de agua, o una combinación no esperada de todas las anteriores. Estos fenómenos pueden ocurrir desde el momento en que se inicia la construcción, hasta cuando el proyecto está construido y operando, afectando no sólo los supuestos de la construcción, sino que los relativos a la etapa de operación. A lo anterior se suman los temas relacionados a la interacción del proyecto y su posterior operación con el medioambiente, lo que también requiere de un proceso de caracterización que incorporará más complejidad e incertezas al proyecto.

La planificación de un proyecto minero considera la captura de información Geo-Minera-Metalúrgica, así como la caracterización del entorno del proyecto incrementándose, gradualmente a lo largo de la evolución del proyecto, la cantidad de información disponible para cumplir con las etapas de Ingeniería de Perfil, Prefactibilidad y Factibilidad.

En términos generales en las campañas de reconocimiento y exploración se deben reconocer tres ámbitos:

- Información que permitirá caracterizar el cuerpo mineral y su geología, para las modelaciones que permitan determinar las variables geo-metalúrgicas y así, finalmente, los indicadores económicos del proyecto.
- Información del entorno y el medioambiente, lo que permitirá de igual forma determinar los aspectos socioeconómicos y ambientales del proyecto.
- Información relativa al G4⁴⁵ (geología, geomecánica, geofísica y geotécnica), incluyendo en ella los aspectos hidrogeológicos, lo que permitirá generar los modelos analíticos a ser usados en las distintas etapas del proyecto

La información antes indicada alimentará a un equipo de ingeniería, lo que le permitirá iniciar el proceso de planificación y diseño del proyecto. Este proceso de planificación es recursivo, o sea, se construyen los primeros modelos relativamente simples, los que permiten dar una primera "vuelta" en el ciclo de "uno y dos bucles" del Proceso de Aprendizaje mencionado anteriormente, aplicando los mejores estándares de la industria. Este proceso va fijando en la medida que avanza, los hechos y creencias que formarán parte de los llamados Modelos Mentales, que los hemos llamado el Banco de Supuestos Claves en las Figuras siguientes.

49

 $^{^{\}rm 45}$ Mencionado como conclusión de ¿Qué es la complejidad en los proyectos mineros?

La obtención de información de terreno para la generación de las bases de datos y modelos antes indicada, la llamamos Compra de Información. Conforme al autor T. Carter⁴⁶ la inversión temprana de Compra de Información en terreno, con su consecuente análisis, permite reducir impactos negativos al proyecto producto de Incertezas (este autor las llama "riesgo de problemas no vistos"), lo que se muestra en el Gráfico 1⁴⁷ siguiente, adaptado a partir del autor antes mencionado. Tal como se puede observar en este gráfico, se muestra un área achurada en la cual han quedado los puntos Gasto óptimo y Límite práctico, la que representa el mundo de "hechos y creencias" del equipo de proyecto (que pasan a formar parte del Banco de Supuestos Claves mencionado en el Proceso de Aprendizaje).

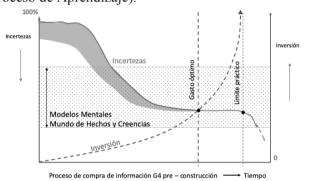


Gráfico 1: Incertezas versus Inversión en Compra de Información.

Tal como se puede observar en el gráfico anterior, la curva teórica de disminución de las Incertezas, inicialmente es asintótica al 100%, lográndose alguna disminución, luego de incurrir en un porcentaje significativo de la inversión en Compra de Información. La forma en la cual se procesa esta información es fundamental y tiene relación con el Proceso de Aprendizaie indicado en el Capítulo sobre Complejidad Dinámica, donde la conformación de equipos de trabajo con conocimientos, experiencia y una alta capacidad crítica es fundamental para lograr eficiencia y eficacia en la Compra de Información. Es clave la manera cómo se desarrolla la discusión respecto de los datos y modelos que se levantan para no quedar atrapados en la Trampa del Videojuego citada anteriormente, ya que, en la medida que no se logre pasar al "segundo bucle" del aprendizaje, el marco de hechos y creencias que definen las Incertezas según Perminova. será más alejado de la realidad, conforme se muestra en los dos gráficos de la Figura 9 siguiente.

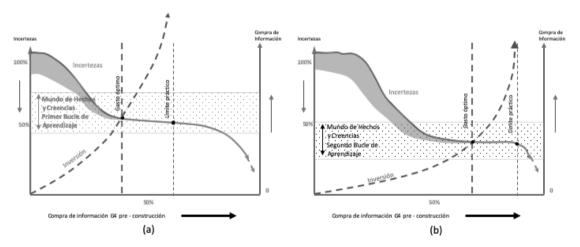


Figura 9: Dos situaciones para los Hechos y Creencias del Segundo Bucle de Aprendizaje.

⁴⁶ Carter, Trevor, Successful Tunnelling in Challenging Mountainous Conditions, HRW, July-August 2011, www.hydroworld.com, pág. 32.

⁴⁷ G4 se refiere a información geológica, geomecánica, geotécnica y geofísica (incluyéndose obviamente los temas relativos a la hidrología del macizo rocoso).

En estos dos gráficos lo único comparable son los montos de inversión en la Compra de Información, ya que las áreas de los Hechos y Creencias de cada uno de ellos son distintas, en términos de sus contenidos y definiciones. En el gráfico (a) el equipo "cree haber convergido" al Punto Óptimo con un monto relativamente bajo de Compra de Información, mientras que en el gráfico (b) el equipo "cree haberlo logrado" con un mayor gasto. En el segundo caso, en términos teóricos se han podido develar más del 50% de las principales Incertezas, mientras que en el otro caso es un porcentaje inferior, que será descubierto cuando el proyecto se encuentre ya en construcción, con todo lo que esto significa respecto a cambios no esperados, consecuencias medioambientales, etc.

La certeza del equipo de proyecto de haber logrado romper la Trampa del Videojuego sólo la dará la forma en la cual la Gobernanza del proyecto sea estructurada, tema que se aborda más adelante.

El producto final de la Compra de Información debe ser el Geotechnical Memorandum for Design (GMfD), en línea con lo que se plantea en el siguiente capítulo. El GMfD corresponderá al Banco de Supuestos Claves antes mencionado y son los "Hechos y Creencias" del equipo de proyecto. La confección de este documento es de vital importancia v debe ser realizada por un equipo multidisciplinario, incluyendo personas que aporten miradas distintas a los equipos tradicionales que tenga la empresa, para evitar ambientes endogámicos que no permiten el proceso de aprendizaje del segundo bucle antes mencionado. El GMfD a ser considerado para la construcción del Geotechnical Baseline Report (GBR) debiera contar con varias iteraciones generadas a lo largo del proceso de Compra de Información, todo esto asegurado por una Gobernanza conforme se indica en el Capítulo siguiente.

Los contenidos mínimos de este documento son⁴⁸:

- Comentarios y discusión respecto de los datos.
- Presentación de las posibles interpretaciones iniciales de los datos.

- Evaluar sus limitaciones y discutir las necesidades de información adicional.
- Presentar una evaluación de cómo las condiciones del subsuelo y de la roca pueden afectar los enfoques alternativos para el diseño y la construcción del proyecto.
- Presentar una evaluación de cómo las condiciones de la roca pueden afectar la futura explotación del yacimiento, así como los resultados de los procesos metalúrgicos.
- Evaluar los riesgos del proyecto en función de enfoques de construcción alternativos.
- Evaluar potenciales impactos sobre instalaciones advacentes.
- Proporcionar criterios de diseño geotécnico para estructuras de subsuelo tanto permanentes como temporales.

Las actividades antes mencionadas tienen relación con el Banco de Supuestos Claves del proyecto, las que deben permitir al equipo de construcción preguntarse respecto de la validez de los datos y de los modelos definidos. En particular la actividad de "Evaluar las limitaciones de los datos" tiene un vínculo directo con la Compra de Información en terreno, mecanismo que permite reducir de manera significativa las Incertezas que rodean la definición de los supuestos bases. Esta actividad debe tener dos resultados concretos, el primero, la definición de mayor actividad en terreno de tal manera de enriquecer la cantidad de información obtenida terreno. El segundo, un listado de supuestos sobre los cuales se deben desarrollar talleres de trabajo interdisciplinarios que permitan cuestionar la validez de los supuestos, generando un análisis de potenciales Incertezas.

En algún momento se iniciará el proceso de Diseño del Proyecto, para lo cual el mismo autor⁴⁹ plantea el Gráfico 2 siguiente. Tal como se dijo anteriormente, cuando se inicia el diseño ya no es posible disminuir los impactos asociados a las Incertezas, los que serán develados en la etapa de construcción, con los riesgos e impactos que eso implica. La separación que se plantea entre la "Compra de Información" y, luego, el "Diseño", no se debe entender como secuencial, ya que la misma construcción de las obras es una "Compra de Información definitiva",

Guidelines, pero incorporando los conceptos de "Incertezas" y "Compra de Información" discutidos anteriormente (pág. 11). ⁴⁹ Carter, Trevor, *op. cit.*, pág. 32.

⁴⁸ Los contenidos que se indican corresponden a los señalados en las Geotechnical Baseline Reports for Construction, Suggested

que permite comprobar en qué medida los Hechos y Creencias fueron correctos o, alternativamente realizar las correcciones que el proyecto requiera.

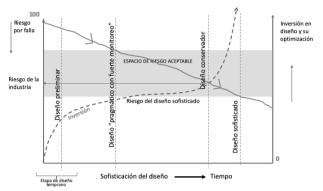


Gráfico 2: Riesgo por falla e Inversión en diseño y su optimización.

En el gráfico anterior aparecen relacionados, para distintos niveles de riesgo, cuatro tipos de diseños: i) uno preliminar, propio de una etapa de ingeniería de perfil de un proyecto (FEL 1), al cual se podría llegar de manera paralela a una etapa avanzada de la Compra de Información, lo que ayudará a un mejor análisis del equipo de proyecto, ii) un Diseño pragmático, que podría ser adoptado para acelerar el proyecto en una situación del tipo "ambiente conocido", dando por supuestos todos los modelos mentales posibles — abstrayéndose de concepto de Incertezas antes indicado (FEL 2), y iii) un Diseño conservador (FEL 3), será aquel que minimice los riesgos e incertezas compatibles con los grandes proyectos de hoy en día, en ambientes de Complejidad Dinámica.

4. El Geotechnical Baseline Report (GBR). Una herramienta para disminuir la Complejidad Dinámica de los Proyectos.

Objeto y características del GBR.

La construcción de los nuevos proyectos y expansiones importantes de empresas existentes se hace con el concurso de contratistas especializados, los que reciben un mandato de construcción, habitualmente, luego de procesos de licitación largos, con abundante y variada

información. Los contratos más complejos de construcción son aquellos que tienen relación con obras subterráneas y excavaciones en roca, ya que la respuesta del macizo rocoso a las técnicas constructivas y al diseño de las obras, sólo se termina de conocer realmente cuando se inicia la construcción. Dado lo anterior, una fuente de conflicto importante en los proyectos y, por ende, en la complejidad de ellos, tiene relación con la delimitación de responsabilidades entre el mandante y el proveedor.

Desde la década del 7050, en el mundo existe la práctica de incorporar dentro de los contratos de construcción subterráneos, distintos informes geotécnicos, sin un estándar definido y, en algunos de esos casos, escritos pobres con interpretaciones geotécnicas ambiguas, situación que en algunos casos también refleja la realidad nacional. La respuesta de la industria a nivel internacional fue la edición del Geotechnical Baseline Report, emitida en 1997, generándose una segunda edición en 2007. Esta herramienta la presentan sus autores como una forma⁵¹ de "informar a los Dueños sobre la importancia del contenido de la GBR para definir los riesgos financieros" y de generar una condición de mayor información en los procesos de licitación. Además de estos beneficios, dada las definiciones de Compra de Información e Incertezas. hechas anteriormente, permite:

- Generar un Banco de Supuestos Claves en base a los hechos y creencias levantados en el proceso de Compra de Información, lo que dará una herramienta para la administración de las Incertezas.
- Sistematizar el proceso de caracterización del macizo rocoso, de tal manera de generar un conocimiento objetivo que ayude a todas las entidades involucradas en el proceso de construcción.
- Facilitar el traspaso de riesgos a los contratistas, logrando ambientes más competitivos y la disminución de la complejidad en la administración de estos contratos, ante posibles cambios de la realidad encontrada al momento de la construcción, respecto del Banco de Supuestos Claves definidos en la Compra de Información.

Los principales objetivos del GBR con relación a disminuir la Complejidad Dinámica en la administración de los contratos de construcción, son⁵²:

⁵⁰ Essex, Randall J., op. cit.

⁵¹ Ibidem, pág. 1.

⁵² Ibidem, pág. 6.

- Presentar las consideraciones geotécnicas y de construcción que formaron las bases del diseño para los componentes del subsuelo y para los requisitos específicos que se pueden incluir en las especificaciones.
- Mejorar la comprensión del contratista sobre las limitaciones clave del proyecto y los requisitos importantes en los planes y especificaciones del contrato que deben identificarse y abordarse durante la preparación y construcción de la oferta.
- Asistir al contratista o al equipo de Diseño y Construcción en la evaluación de los requisitos para excavar y apoyar el terreno.
- Orientar al dueño respecto a la administración del contrato y el monitoreo del desempeño durante la construcción.

Tal como indica el autor, las GBR son más que una recolección de datos "es la principal interpretación contractual de las condiciones del subsuelo", dado lo cual el informe debe señalar y discutir cuáles son estas condiciones con suficiente detalle para comunicar, con precisión, estas condiciones a los oferentes, así como a las empresas de ingeniería y otras entidades que requieran esta información.

De manera resumida, en el GBR se deben incorporar todos los elementos que permitan a los contratistas, aparte de las generalidades habituales de ubicación, dueño, empresas de ingeniería principales, etc., entender las singularidades del terreno donde se ejecutarán las obras, entre ellos⁵³:

- Fuentes de la información geológica y geotécnica, donde se debe hacer alusión al Geotechnical Data Report (GDR – detallado más adelante), así como a otros documentos relacionados con la geología y geotecnia.
- Descripción del entorno geológico y caracterización del terreno del proyecto, la cual, junto con referirla al GDR, debe entregar una breve descripción de la configuración geológica, de las aguas subterráneas, origen de los depósitos, mapas y principales figuras, incluyendo los perfiles geológicos de los túneles y obras en general que se construirán. Se deben indicar los programas de exploración, ensayos, sondajes desarrollados, etc.
- Experiencias previas de construcción que pudieran entregar antecedentes relevantes. Como se mencionará más adelante, esto es importante desde el punto de vista de la

- generación de los supuestos bases que debieran dar pie a un análisis de posibles Incertezas del proyecto.
- Consideraciones de diseño de las obras, las que deben incluir definiciones del diseño de los tipos de obra a construir, tipos de soporte a considerar y cantidades recomendadas, restricciones o consideraciones ambientales en los métodos de construcción, instrumentación requerida, recolección de datos requerida en el proceso de construcción, etc.

Complementarios al GBR y al GMfD están el Geotechnical Data Report (GDR) y la Differing Site Conditions (DSC), respecto de los cuales, de manera muy breve, cada uno de ellos contiene:

- Geotechnical Data Report⁵⁴ (GDR) información más detallada, que complementa el GBR y describe en términos más específicos las fuentes de la información contenida en el GBR, realizando una descripción del entorno geológico, caracterización del terreno, el programa de exploración realizado, pruebas, etc.
- Differing Site Conditions⁵⁵ (DSC): esta cláusula incluida en el contrato de construcción, permite gatillar las conversaciones entre el contratista y el mandante respecto de condiciones que se encuentren en terreno y que difieran sustancial y materialmente, respecto de lo definido originalmente en el GBR. El texto presentado por R. Essex es:

DIFFERING SITE CONDITIONS (APRIL 1984)

(a) The Contractor shall promptly, and before such conditions are disturbed, give a written notice to the Contracting Officer of (1) subsurface or latent physical conditions at the site which differ materially from those indicated in this contract, or (2) unknown physical conditions at the site, of an unusual nature, which differ materially from those ordinarily encountered and generally recognized as inhering in work of the character provided for in the contract.

(b) The Contracting Officer shall investigate the site conditions promptly after receiving the notice. If the conditions do materially so differ and cause an increase or decrease in the Contractor's cost of, or time required for, performing any part of the work under this contract, whether or not changed as a result of the conditions, an equitable adjustment shall be made under this clause and the contract modified in writing accordingly.

⁵³ Ibidem, pág. 23.

⁵⁴ Ibidem, pág. 11.

⁵⁵ Ibidem, pág. 14.

Administración de las Incertezas y transferencia de riesgos al contratista.

La precedencia de los documentos que forman parte del GBR, todo parte del Contrato de Construcción – donde va incluida la cláusula Differing Site Conditions antes indicada – debe ser: primero el GBR y, luego, el GDR. Conforme a la recomendación de sus autores el GMfD, si bien puede ser entregado a los oferentes, no debiera ser parte del contrato, debido a que es preparado con bastante antelación al GBR.

Teniendo en consideración el enfoque que se da a las GMfD, relacionado con la Compra de Información, en el proceso iterativo de su generación, todas sus reediciones debieran ser tituladas como Borrador ya que, incluso durante el proceso de construcción, este documento debiera ser revisado y actualizado una y otra vez, con el fin de usarlo como parte del Proceso de Aprendizaje de los dos bucles, mencionado anteriormente.

Tomando como base la información contenida en la⁵⁶ "Guidelines for tunnelling risk management", se muestra en la Figura 10 siguiente el flujo de información propuesto entre el dueño del proyecto y el contratista.

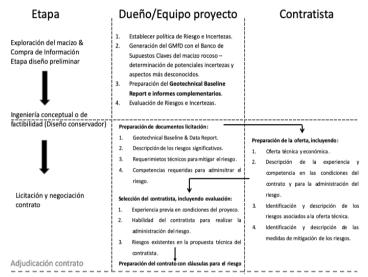


Figura 10: Flujo de información Equipo proyecto – Contratista.

Esta práctica relacionada con la Compra de Información para la caracterización del macizo rocoso debe ser extensiva, también, respecto a los temas más sensibles del proyecto, como por ejemplo los del entorno – medioambiente y su interacción con el proyecto, debiendo un equipo ahora formado por ingenieros, biólogos, antropólogos, historiadores y otros; generar un informe que sirva para el diseño del proyecto donde se levanten los principales supuestos que permitan, de igual forma, administrar y reducir las Incertezas asociadas al entorno en general.

Generación de ambientes más competitivos con "plena" información.

Las reglas claras no sólo conservan la amistad, sino que en el caso de una relación comercial permiten minimizar las ambigüedades y hacen más objetivas las condiciones del terreno al contratista. La línea base geotécnica del GBR tiene esa misión; definir las condiciones esperadas en el terreno, así como las cantidades y calidades de las obras a construir, dejando las Incertezas y elementos que no están en manos del contratista, de cargo del proyecto. En este escenario se logrará evitar que las contingencias

 N^{o} 2, Tunnelling and Underground Space Technology 19 (2004), pág. 217 -237.

⁵⁶ Soren Degn Eskesen et al, Guidelines for tunnelling risk management: International Tunnelling Association, Working Group

del contratista, tengan exclusiva relación con elementos en su poder, sin que aumenten el costo de su propuesta.

La línea base geotécnica define una condición para la cual los distintos oferentes en un proceso de licitación deben fijar sus precios en función de sus productividades y competencias, con la posibilidad de hacer una propuesta conservadora, centrada o agresiva; conforme se muestra en la Figura 11 siguiente.

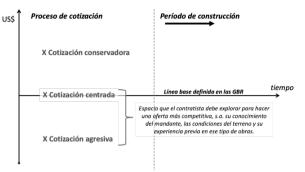


Figura 11: Tipos de cotización respecto de la Línea Base Geotécnica.

La decisión del contratista de hacer cualquiera de estas propuestas (conservadora, centrada o agresiva) tendrá relación con las definiciones hechas en la línea base del GBR, así como con su experiencia y percepción del riesgo que tenga. La capacidad del contratista para entender la descripción de las obras y las condiciones detalladas en el GBR, serán claves para hacer una propuesta responsable y equilibrada en el riesgo asumido. Lo anterior dependerá de la calidad y conocimiento de los profesionales expertos en estas materias con que el contratista cuente.

En la vida real existirán explicaciones para asignar el contrato fundadamente a una oferta agresiva, centrada o conservadora. Las cotizaciones agresivas siempre encantan porque los números ex-ante se ven muy atractivos. En ambientes más reflexivos se puede asignar una cotización más conservadora, por ejemplo, en base a la experiencia del contratista y la solidez de su propuesta.

Durante el período de construcción, la realidad del macizo rocoso demostrará una situación que puede ser más o menos agresiva que la detallada en la línea base, mientras que la propuesta aceptada, puede haber sido una oferta conservadora, centrada o agresiva. Dado lo anterior, se generarán los siguientes posibles escenarios:



Tabla 3: Escenarios posibles de ofertas respecto de la Línea Base Geotécnica.

Los escenarios en los que se eligen las ofertas más agresivas, unidos a realidades más adversas del macizo rocoso (Cuadrante C), son escenarios de una alta complejidad por las Incertezas que pudieran sobrevenir y por los temas propios de las reclamaciones y ambientes de litigio.

El mérito de contar con información de calidad en la línea base geotécnica unido a un proceso de selección riguroso que no busque explicaciones fáciles, como sólo "la cotización más baja", permitirá desarrollar el proyecto en un ambiente de menor complejidad y menores incertezas (más cerca del Cuadrante B). Las ofertas agresivas en contratos complejos, como son las obras subterráneas y aquellas con excavaciones en roca, generan situaciones contractuales difíciles de resolver en el caso que se encuentren en el terreno condiciones más desfavorables que las esperadas.

Las reglas del juego para las reclamaciones en el caso de una propuesta "centrada" a la línea base definida, se muestran en la Figura 12.

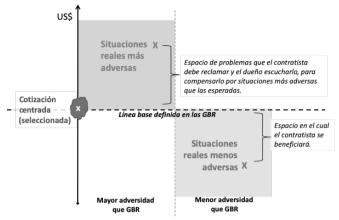


Figura 12: Posibles diferencias con el contratista respecto en función del tipo de oferta.

Esta situación de compensar por aquellos elementos no considerados en la línea base, permite obtener cotizaciones más ajustadas a la realidad, ya que dejan fuera supuestos relacionados con temas que no están bajo el control del contratista, disminuyendo las Incertezas de ellos, dejándolas de lado del dueño del proyecto.

Hay que mencionar que existen varios otros tipos de contratos, que definen una condición de riesgo para el mandate y otra para el contratista, conforme se muestra en la Figura siguiente⁵⁷.



Figura 13: Diferentes relaciones de contratos – riesgos.

Mientras más experiencia tenga la empresa, la gobernanza y el equipo de proyecto, debieran tender a elegir una modalidad de contrato a precios unitarios (adecuada con el GBR antes descrito) y quizás con algunas partidas a suma alzada. La selección de un tipo u otro, dependerá de la experiencia de la empresa, de las empresas contratistas, así como del apetito al riesgo del Directorio, conforme se indica más adelante.

5. Gobernanza para administrar las Incertezas y reducir la Complejidad Dinámica de los proyectos.

Existe numerosa literatura en libros. artículos especializados⁵⁸ y otros tantos promovidos por empresas consultoras sobre la administración de empresas y de los proyectos, tanto que algunos autores lo han asimilado al concepto de una moda⁵⁹. Pese a lo anterior, los fracasos originados por distintos tipos de problemas en los provectos o en las empresas en marcha siguen ocurriendo⁶⁰, siendo en parte debido a que la Gobernanza de los proyectos no tiene la estructura adecuada y, además, no han internalizado los conceptos de Complejidad e Incertezas, tal como se presentan en el presente artículo.

En este Capítulo se presentan algunas definiciones respecto a la estructura mínima que debe tener la Gobernanza de los proyectos, así como prácticas que ésta debiera desarrollar para capturar, tempranamente, el concepto de Incertezas y así, reducir su complejidad – con base en los conceptos de Compra de Información y del GBR.

Dadas las características que hacen únicos y distintos a los proyectos respecto de las empresas en marcha, tal como se ha insistido en los capítulos anteriores, existen tres recomendaciones que debieran generar procesos más robustos que aseguren la buena marcha de los proyectos, como son:

i. La separación de las operaciones normales de la empresa respecto de los proyectos de inversión.

⁵⁷ Brox Dean, Risk Management – Tendering and Construction Sharing Risks in Contracts, Risk Management in Tunnelling, Santiago, September 2017.

⁵⁸ Crawford, Lynn et al, *Uncovering the trends in project management: Journal emphases over the last 10 years*, International Journal of Project Management, 2006, N° 24, págs. 175 – 184.

⁵⁹ Johansen, Oscar, *Las Modas en administración*, Publicaciones Editorial Gestión Ltda., Santiago, Chile, 2000.

⁶⁰ Garicano, Luis et al, *Why Organizations Fail: Models and Cases*, Journal of Economic Literature 2016, 54 (1), págs. 137 – 192.

- ii. El uso de la Compra de Información en la conceptualización del proyecto, para generar el GMfD y el Social Environmental Memorandum for Design (S&EMfD)⁶¹, y crear un Banco de Supuestos claves que permitan administrar las Incertezas.
- iii. Apoyar el rol del Directorio por un Comité Técnico, asegurando con esto una tensión sana con el Equipo del Proyecto, a través de un Comité cuyos integrantes tengan la mezcla adecuada de experiencia e independencia.

Separación del proyecto de la rutina de la operación

Dadas las características antes indicadas, la primera decisión clave tiene relación con la separación de la operación de la empresa respecto del proyecto, ya que, dada la velocidad de los cambios dentro de estos, requiere flexibilidad y eficiencia en el equipo, las que no serán posibles si se le incorporan los procedimientos propios de la operación, los que de por si son más rígidos.

La convivencia del ambiente de proyectos con la operación genera una⁶² "contaminación de los procesos operacionales con procedimientos de excepción, con cuya licencia cuenta el proyecto, los que no son recomendables como mecanismos de acción permanentes". A lo anterior se suma la necesidad de tener una contabilidad sana, tanto en la operación como en la construcción del proyecto, lo que no se facilita al convivir ambas realidades.

La importancia de la Compra de Información en la etapa de conceptualización

Una de las buenas prácticas de la industria es lo que plantea la IPA⁶³ con el Sistema de los Front End Loading (FEL) – o puertas de aprobación – indicando que para el correcto desarrollo de los proyectos se debe cumplir una

serie de etapas, cada una de las cuales debe terminar con un informe independiente, que permita asegurar que el contenido de los informes y análisis cumplan con los estándares de la industria.

En la Figura 14 siguiente se puede observar cómo es definido el sistema de los FEL y Puertas de aprobación por E. Merrow⁶⁴, a partir de las definiciones de la IPA⁶⁵.

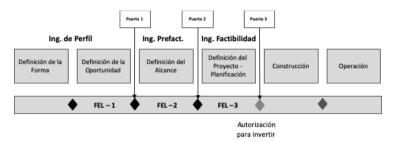


Figura 14: FEL y Puertas en el desarrollo del proyecto⁶⁶.

Existe detallada información respecto del sistema FEL y los entregables mínimos que se deben cumplir, dado lo cual en este acápite lo que se hará es vincular el sistema de la IPA con los conceptos antes tratados de Compra de Información y de Complejidad Dinámica, los que permiten la definición del GMfD y del S&EMfD, considerado el primero como parte de la documentación del GBR.

Incorporando en la Figura anterior los procesos previos de Determinación de Reservas, Ingeniería y definiciones medio ambientales, así como la Compra de Información en general, se estará en condiciones de preparar el GMfD y S&EMfD, conforme se observa en la Figura 15 y 16 siguientes.

⁶¹ El Social – environmental Memorandum for Design cumple el mismo rol que el definido para el GMfD, pero orientado a los aspectos sociales y medioambientales y su interacción con el proyecto.

Briceño, Pedro, Administración y Dirección de Proyectos, Un enfoque Integrado, ISBN 956-19-0192-7, Pedro Briceño Lazo, 1994.
 Rohrbaugh, Kate, Lessons on Process for Evaluation, Independent Project Analysis, San Antonio, Texas, 2010.

⁶⁴ Merrow, Edward, *Industrial Megaprojects: Concepts, Strategies, and for Success*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2011, pág. 202.

⁶⁵ Antes del inicio de la construcción la IPA plantea que se debe realizar la "Execution Readiness" de tal manera de comprobar si existen todas las definiciones, revisiones, permisos, infraestructura mínima, etc., etc., para iniciar la construcción.

⁶⁶ Se usa en el mundo de los proyectos las siguientes equivalencias: Ing. de Perfil = Ing. Conceptual, Ingeniería de Pre-factibilidad = Ing. Básica e Ingeniería de Factibilidad = Ing. de Detalle, siendo habitualmente difusos los límites entre una y otra.

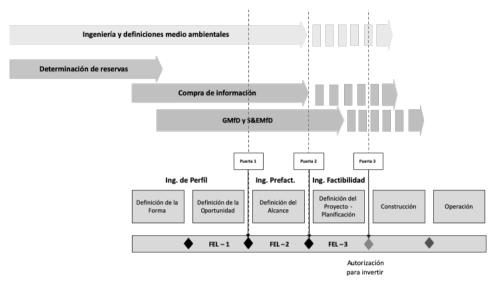


Figura 15: FEL considerando el Medioambiente, Compra de información y el GMfD.

En esta Figura se muestran algunos de los procesos con cuadros segmentados — actividades relativas al Medioambiente, la Compra de Información y la preparación del GMfD y S&EMfD — ya que son actividades que, si bien deben tener entregables concretos para el FEL 1, 2 y 3; se debe entender que el conocimiento del equipo de proyecto no terminará sino hasta que el proyecto esté construido. Durante todo este tiempo el equipo de profesionales debe mantener una actitud crítica respecto de la información que se genere dentro del proceso de construcción, para entender si los Supuestos Claves están en línea con la realidad encontrada.

Durante la ingeniería de perfil se desarrolla una de las actividades más importantes de un proyecto: su conceptualización, definición de los objetivos y métodos. Conforme a la Figura 15 anterior, ésta debería permitir al equipo de proyecto generar, además de los fundamentos e ingenierías propias de esta etapa, el GMfD y el S&EMfD que reúnan la información y principales modelos relativos a la caracterización del macizo rocoso. Es en esta etapa cuando mayor atención deben poner los

accionistas sobre el equipo de proyecto para asegurar, por encima de los habituales indicadores técnico-económicos, que se estructure la información clave del proyecto, conforme se muestra en la Figura 16.

Es importante que la Gobernanza del Proyecto tenga conciencia que este proceso es realizado por personas que están en un contexto de "Complejidad Dinámica". Tal como se mostró en la Figura 6 -Proceso de Aprendizaje-del Capítulo 2, el equipo de proyecto debe haber sido desafiado de tal forma que se produzca el Proceso de Aprendizaje de dos bucles y como consecuencia de esto, haya quedado un Banco de Supuestos Claves que, junto con minimizar las posibles Incertezas, permita su adecuada administración.

En la Figura 16 siguiente se muestra esquematizado el Proceso de Definición de los Objetivos y Métodos, donde las actividades son todas recursivas entre sí, propias de la Complejidad Dinámica antes definida.

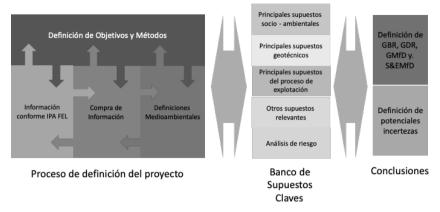


Figura 16: Definición del Banco de supuestos claves, el GBR, GDR, GMfD y S&EMfD.

Este proceso se debe entender dinámico e interdependiente entre todas estas etapas, incluso cuando se hayan pasado los FEL 1, 2 y 3 y se encuentre el proyecto en etapa de construcción. En esta última etapa, la construcción, se debe revisitar frecuentemente el Banco de Supuestos Claves y sus Conclusiones, junto con el GMfD y S&EMfD, para comprobar que la información que se está recuperando es coherente y así determinar eventuales brechas que, lo más probable, existirán, dándoles el tratamiento que cada una de ellas amerite.

El rol del Directorio y la incorporación de un Comité Técnico.

Dada la gran variedad de literatura existente respecto a los tipos de organizaciones y perfiles de profesionales requeridos⁶⁷, en este acápite se abordará cuáles son los énfasis que se deben tener en consideración para contar con una Gobernanza que pueda hacerse cargo de las Incertezas y la Complejidad Dinámica propia de los proyectos mineros.

Dentro de los temas importantes que se deben destacar, están los roles de los gerentes de proyecto, de ingeniería y de construcción y la relación entre ellos. Dependiendo de la etapa del proyecto, unos tendrán un mayor o menor liderazgo, dándose por descontado que la continuidad y el proceso de sucesión de cada uno de ellos en el proyecto, es un factor de éxito más que importante que recae sobre el gerente del proyecto.

Aprovechando la misma Figura 15 anterior, se grafican dos mundos a lo largo de la vida del proyecto, Figura 17, el de la Ingeniería y de la Construcción. Si bien, puede haber personas de grandes habilidades capaces de desenvolverse en todos ellos, claramente, el gerente de la ingeniería tendrá un peso gravitante en la primera etapa, mientras que en la segunda la tendrá el gerente de construcción. El paso armónico y fluido entre cada una de las etapas dependerá de las habilidades de liderazgo del gerente de proyecto y de su relación con el Directorio de la empresa, los responsables finales del éxito.

59

⁶⁷ Morris, Peter et al, *The Wiley Guide to Managing Projects*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2004, págs. 67 – 83.

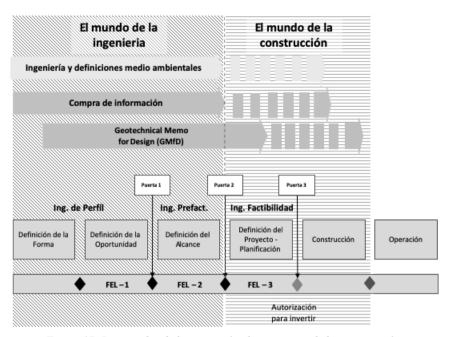


Figura 17: Los mundos de la ingeniería, de proyecto y de la construcción.

El punto que se quiere levantar en este acápite tiene relación con la necesidad de crear una organización que va más allá de la selección del gerente de proyecto, una organización que asegure el éxito de esta nueva iniciativa. Esta debe ser capaz de leer la Complejidad Dinámica de nuestros tiempos. Algunas de las tareas específicas que debe realizar la Gobernanza del proyecto desde las etapas de conceptualización hasta la factibilidad, son:

- Asegurar una lectura compartida del contexto en el cual se desarrollará el proyecto, de manera de realizar las definiciones estratégicas que sean necesarias ya sea respecto de los principales stakeholders, definiciones financieras, compras estratégicas tempranas y/u otras necesarias.
- Asegurar las definiciones claves del proyecto, tanto desde el punto de vista de los objetivos y métodos que se utilizarán, como de las consecuencias de ellos.
- Asegurar la creación de una organización y los sistemas claves para el control financiero y de avance del proyecto.
- Acompañar a la organización, en particular al gerente del proyecto, en las decisiones estratégicas claves que permitan capturar las oportunidades y mitigar las amenazas de la mejor forma, tema habitualmente asociado a asumir ciertos riesgos y exposiciones financieras.

 Finalmente, sin por eso ser menos importante, asegurar la alineación del gerente del proyecto con los intereses de los accionistas, en particular con aquellas materias relacionadas con el apetito al riesgo⁶⁸ y ciertos valores claves de los accionistas.

Tempranamente, en el proyecto es necesario dar las primeras formas a la organización que lo administrará, debiendo hacerse definiciones respecto la selección del gerente de proyecto o gerente general, que será la cara visible y líder del proyecto Este deberá tener todas las capacidades que requiere la conducción de personas, en entornos complejos.

Cada una de las tareas antes indicadas no es posible asegurarlas sólo a través del gerente y el equipo del proyecto. Se requiere que también exista una entidad complementaria para que se genere una sana tensión dentro del proyecto, que asegure una mirada crítica y con esto el éxito de la iniciativa.

La siguiente Figura 18 muestra cuatro entidades, el Directorio de la empresa, el Sponsor⁶⁹, un Comité Técnico y el Gerente de Proyecto y su equipo de trabajo.

⁶⁸ Enrione, Alfredo et al, op. cit., pág. 268.

⁶⁹ Este rol existirá solo en el evento que exista una empresa en marcha cercana a la construcción del proyecto.

Las líneas que unen estas entidades (con 3 niveles de jerarquía), muestran cuáles será las relaciones más importantes entre cada uno de ellos, de tal manera de no debilitar las funciones y accionar del gerente del proyecto, por un lado y asegurar de igual forma el éxito.

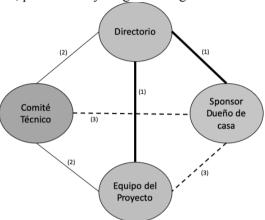


Figura 18: Entidades en torno al proyecto.

En las grandes corporaciones es posible que la figura del Directorio esté representada por un Comité presidido por el CEO y parte de su staff clave. Esto no quita las obligaciones del Directorio, de estar debidamente informados, en particular, respecto de la definición del Apetito por el Riesgo – tarea que no puede delegar.

La existencia del Comité Técnico, formado por profesionales de amplia experiencia en los temas atingentes al proyecto debiera ser lo más temprana posible, pudiendo tener la forma de Revisión de Pares (pero de manera continua), variando su forma o su composición, conforme el proyecto avance. La existencia de este Comité se hace necesaria aparte del proceso de revisión que plantea la IPA para cada FEL 1, 2 y 3. Esto permitirá realizar discusiones de calidad y a un costo no relevante para lo que, finalmente, está en juego. La composición de este Comité debe ser variada, asegurar experiencia, independencia y discusión respecto de los temas importantes, con miradas desde adentro de la empresa y externas a ella.

Las principales tareas de este Comité Técnico son:

- i. Acompañar el proyecto a lo largo de todo su desarrollo, con un especial énfasis en las etapas de aprobación de cada uno de los FEL 1, 2 y 3, asegurando la robustez del proyecto.
- ii. Poner especial atención a la generación de los GMfD y S&EMfD, preocupándose de cuestionar los supuestos, partiendo por los modelos mentales de los integrantes del equipo y exigiendo la generación de un potencial Mapa de Incertezas, adicional a los análisis de riesgos tradicionales.
- iii. Asegurar que se produzca una discusión que permita revisar el estado de avance de la Compra de Información, validando los trabajos en curso, respecto de esa materia. Todo esto, a partir de la generación de los primeros borradores de los GMfD y S&EMfD
- iv. Sobrevolar el desarrollo del proyecto desde la perspectiva técnica, con reuniones de trabajo periódicas que no ahoguen a la organización, pero que les permita entender el desarrollo del proyecto, informando el avance, gradualmente, al Directorio, conjuntamente con discusiones con el gerente y el equipo de proyecto.

Bibliografía.

- 1. Bosch-Rekveldt, Marian et al, *Grasping Project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework*, International Journal of Project Management, N° 29 (2011).
- Briceño, Pedro, Administración y Dirección de Proyectos, Un enfoque Integrado, ISBN 956-19-0192-7, Pedro Briceño Lazo, 1994.
- 3. Buchtik, Liliana, *La Gestión de Riesgos en Proyectos*, buchtikglobal, 2012.
- 4. Carter, Trevor, Successful Tunnelling in Challenging Mountainous Conditions, HRW, July-August 2011, www.hydroworld.com.
- 5. Crawford, Lynn et al, *Uncovering the trends in project management: Journal emphases over the last 10 years*, International Journal of Project Management, 2006, N° 24.
- 6. Darnall, Russell et al, *Project management from Simple to Complex*, Libraries Publishing, University of Minnesota, 2010.
- 7. Davies, Andrew et al, *Five Rules for Managing Large, Complex Projects*, Fall 2017, Volume 59, Issue # 1, September 12, 2017.
- 8. Domingues, María et al, Engineering complex systems applied to risk management in mining industry, International Journal of Mining Science and Technology N° 27, (2017).
- 9. Enrione, Alfredo et al, *Directorio y Gobierno Corporativo*, Universidad de los Andes 2014.
- 10. Essex, Randall J., Geotechnical Baseline Reports for Construction, Suggested Guidelines, American Society of Civil Engineers, 2007 (Second Edition).
- Fundamento para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK), Quinta edición, Project Management Institute, 2013.
- 12. Garicano, Luis et al, *Why Organizations Fail: Models and Cases*, Journal of Economic Literature 2016, 54 (1).
- 13. Johansen, Oscar, *Las Modas en administración*, Publicaciones Editorial Gestión Ltda., Santiago, Chile, 2000.

- 14. Mariotti, Humberto et al, *Managing Complexity*, Conceptual and Practical Tools, Analysis of Examples, Repositorio Académico UPC
- 15. Merrow, Edward, *Industrial Megaprojects: Concepts, Strategies, and for Success*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2011.
- 16. Morris, Peter et al, *The Wiley Guide to Managing Projects*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2004.
- 17. Perminova, Olga et al, *Defining uncertainty in projects a new perspective*, International Journal of Project Management 26, 2008.
- 18. Rohrbaugh, Kate, *Lessons on Process for Evaluation*, Independent Project Analysis, San Antonio, Texas, 2010.
- 19. Saaty, Thomas et al, *Decision Making, Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, University of Pittsburgh, 1994.
- 20. Serpell, Alfredo, *Planificación y Control de Proyectos*, Ediciones Universidad Católica de Chile, Santigo, Chile, 2001.
- 21. Sterman, John, *Learning from Evidence in a Complex World*, American Journal of Public Health, March 2006, Vol. 96, N° 3.
- 22. Soren Degn Eskesen et al, *Guidelines for tunnelling risk management: International Tunnelling Association, Working Group N° 2*, Tunnelling and Underground Space Technology 19 (2004).
- 23. Turner, J. R. et al, Goals and Methods Matrix: coping with projects with ill-defined goals and/or methods of achieving them, International Journal of Project Management, Vol. 11 N° 2 May 1993.
- 24. Williams Terry, *Modelling Complex Projects*, John Wiley& Sons, Ltd., UK 2002.

EMPUJE DINÁMICO EN ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN CON INCLUSIÓN COMPRESIBLE

Dra. Claudia Marcela González Blandón¹ y Dr. Miguel Pedro Romo Organista²

RESUMEN

Las estructuras de retención rígidas se emplean usualmente en obras civiles tales como muros de retención, estribos de puentes y cimentaciones, entre otros. El diseño de estas estructuras se basa en el cálculo de los empujes, estáticos y dinámicos, que ejerce el material retenido sobre la propia estructura. Específicamente, para el caso de acciones dinámicas, el método Mononobe—Okabe (M-O) es el más aceptado internacionalmente para el cálculo de empujes dinámicos sobre muros de retención rígidos. Este trabajo presenta una extensión del método M-O, denominado método modificado M-O (M-M-O), para obtener empujes dinámicos en estructuras de retención rígidas con inclusiones compresibles de poliestireno expandido (EPS, por su sigla en inglés), entre la estructura y el material retenido. El uso de inclusiones compresibles consiste en propiciar mecanismos de atenuación de empujes, estáticos y dinámicos, en el respaldo de una estructura de retención rígida.

El método analítico M-M-O parte de resultados experimentales de ensayes en mesa vibradora de modelos (prototipos) de estructuras de retención rígidas de 0,2 m de altura, con rellenos de material granular e inclusiones compresibles de EPS de diferentes densidades (entre 10 y 32 kg/m³) y distintas relaciones espesor/altura (4,7 y 7,8%). Los prototipos fueron sometidos a movimientos senoidales con aceleraciones de 0,05 y 0,10 g y frecuencias de 1, 2 y 3 Hz.

¹ Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia. PhD. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Jefe de Docencia de ingeniería Civil de la P. Universidad Católica de Valparaíso (PUCV). E-mail: claudia.gonzalez.b@pucv.cl

² Ingeniero Civil de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). PhD. Universidad de California (Berkeley). Profesor Titular de Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Geotecnia. E-mail: mromo@pumas.iingen.unam.mx

1. INTRODUCCIÓN

En zonas de alto riesgo sísmico los empujes dinámicos pueden alcanzar magnitudes que causan daños significativos a las estructuras de retención, llegando en algunos casos a la falla. Como alternativa al diseño de muros capaces de soportar dichos incrementos de presiones, en diversas investigaciones se ha demostrado que el uso de inclusiones compresibles (IC) de poliestireno expandido de alta densidad (EPS, por su sigla en inglés) en la interfaz muro-relleno, con el fin de atenuar los empujes dinámicos de tierra, es efectivo (i. e., Zarnani et al., 2005; Bathurst et al., 2007; Murphy, 1997 y Hazarika y Okuzono, 2004).

La función principal de una inclusión compresible es propiciar la reducción de los empujes laterales impuestos por el suelo de relleno, mediante disipación de energía. Fenomenológicamente, en términos de empujes estáticos, la compresión de una inclusión permite que el suelo aledaño a ésta se desplace, de manera que la presión de tierra, inicialmente igual al empuje de tierra en reposo, tienda al estado activo provocando una reducción en la presión actuante sobre el respaldo de una estructura de retención (González y Romo, 2012a). Para el caso de los empujes de tierra dinámicos, la compresión de una inclusión favorece el desplazamiento en el suelo de relleno, provocando una gran disipación de energía en el suelo y por ende una atenuación en los empujes dinámicos (González y Romo, 2012b).

A la fecha, los métodos para el análisis dinámico de estructuras de retención convencionales pueden agruparse en métodos seudo-estáticos (*e. g.* Mononobe-Okabe, 1926-1929; Prakash y Nandkumaran, 1979 y Morrison y Ebeling, 1995), analíticos (*e. g.* Wood, 1973; Veletsos y Younan, 1994 y Theodorakopoulos *et al.*, 2001) y numéricos (*e. g.* Ostadan y White, 1998 y Bakhtin, 2002). Sin embargo, el método Mononobe-Okabe es el más aceptado internacionalmente para el cálculo de empujes dinámicos.

En el caso de estructuras de retención con inclusiones compresibles, los métodos de análisis dinámico son escasos, siendo algunos de ellos los presentados por Karpurapu y Bathurst (1992), Athanasopoulos et al. (2007) v Horvath (2008). El método presentado por Horvath (2008), por ejemplo, permite definir el espesor mínimo de una inclusión compresible en función de su rigidez, sin presentar la distribución de presiones en el muro y punto de aplicación de la presión máxima. Por consiguiente, y en aras de aportar parámetros que permitan vencer estas limitaciones, este trabajo propone una extensión del método M-O, denominado método modificado M-O (M-M-O), para obtener empujes dinámicos en estructuras de retención rígidas con inclusiones compresibles de poliestireno expandido (EPS) y relleno granular. El desarrollo del método se basa en una investigación experimental, la cual se describe en los siguientes incisos.

2. ETAPA EXPERIMENTAL

Se llevaron a cabo ensayos en mesa vibradora de modelos (prototipos) de estructuras de retención rígidas de 0,2 m de altura, con rellenos de arena e inclusiones compresibles de EPS. A continuación, se describe cada uno de los componentes experimentales, así como el proceso de formación de los rellenos, las características de las señales de excitación y el procesamiento de los registros experimentales.

2.1. Componentes experimentales

Prototipos de estructura de retención

Se diseñaron y construyeron prototipos de muros de retención de 0,2 m de altura por 0,4 m de longitud, formadas por placas de aluminio de 0,02 m de espesor (Figura 1). La base de los muros se empotró a contendedores de acrílico, con la finalidad de restringir los modos de rotación y traslación de los mismos. Los contenedores de acrílico brindaron el espacio para la formación de depósitos de arena de 0,2 m de altura, 0,4 m de ancho y 0,6 m de longitud.

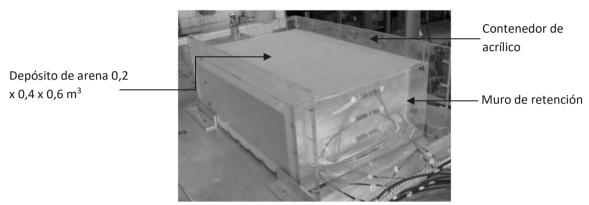


Figura 1. Prototipos de estructuras de retención

Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera de los prototipos fueron seleccionadas de tal forma que éstas no afectaran las mediciones de los sensores instalados en el respaldo del muro de retención (González, 2012). En el caso de las fronteras laterales (Figura 2), las paredes del contenedor se cubrieron con polietileno a fin de aminorar la fricción en dicha frontera (González y Romo, 2008). La frontera posterior (Figura 2) corresponde a una condición rígida, provista por una placa de acrílico fija, la que no ejerce influencia sobre las cargas dinámicas a registrar, debido a la distancia de 0,6 m entre el muro de retención de 0,2 m de altura y dicha frontera (Romo et al., 1980); esto, además, se comprobó usando tanto fronteras absorbentes de energía como flexibles (González, 2012). La frontera inferior (Figura 2) obedece a una frontera rugosa formada con capas delgadas de arena adheridas a hojas de lija de papel N° 80, simulando una condición más cercana a una condición natural suelo-suelo; este criterio de frontera con fricción también lo adoptaron El-Emam y Bathurst en 2004.

Depósitos de arena

El material empleado como relleno es una arena producido por trituración de roca ígnea (basalto), clasificada como arena mal graduada de fina a media (Figura 3), formada por partículas angulosas y subredondeadas de aspecto vítreo con tonalidades predominantemente cristalinas y en menor cantidad tonos opacos. La arena presenta un ángulo de fricción de 30°, densidad de sólidos de 2,62 y contenido de agua entre 0,2 a 0,7%.

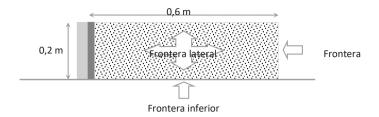


Figura 2. Fronteras

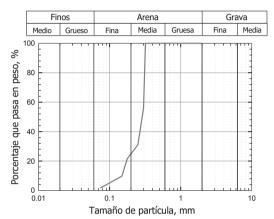


Figura 3. Distribución granulométrica

Inclusiones compresibles

Se adoptaron inclusiones compresibles formadas por bloques de poliestireno expandido (EPS) de área 0,2 x 0,4 m², con densidades (ρ) entre 10 y 32 kg/m³ (10,32; 10,89; 23,40; 25,29; 26,11; 26,86 y 32,64 kg/m³). Adicionalmente, se consideraron valores de la relación "espesor de la inclusión/altura del muro" (δ /H) iguales a 4,7 y 7,8%, correspondientes a espesores de 1,0 y 1,5 cm aproximadamente.

Mesa vibradora

Los ensayos dinámicos se realizaron en la mesa vibradora hidráulica unidireccional del Laboratorio de Mecánica de Suelos del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Dicha mesa cuenta con capacidad de someter a desplazamientos máximos pico a pico de 0,3m en modelos o prototipos de hasta 800kg de masa, ubicados sobre una plataforma de trabajo cuadrada de dos metros de lado. Cabe mencionar que la plataforma está formada por tres paquetes de madera Triplay, Kevlar

(Aramida) y resina epóxica, con lo que se reduce su peso en un 70% con respecto a las tradicionales plataformas de aluminio, para igualdad de resistencia y rigidez.

Instrumentación

Con el objetivo de obtener perfiles de carga horizontal en el respaldo de las estructuras de retención de los prototipos, se instalaron arreglos verticales de cuatro celdas de carga ubicados al centro de los muros (Figura 4). Adicionalmente, se instalaron tres acelerómetros (A1, A2 y A3, Figura 4) con la finalidad de definir las características de vibración del depósito de arena; en este caso, durante los primeros ensayes se observó que los registros de los sensores A2 y A3, ubicados arbitrariamente en los tercios de la longitud del contenedor, eran semejantes, por lo cual se omitió finalmente el acelerómetro A3. Previamente a los ensayos, todos los sensores fueron debidamente calibrados.

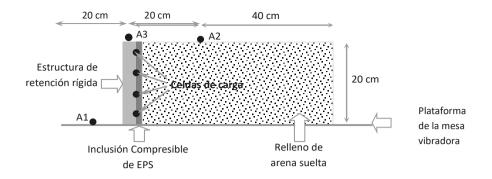


Figura 4. Instrumentación (esquema fuera de escala)

2.2. Formación de depósitos de arena

Todos los depósitos de arena fueron creados con la técnica de pluviación bajo presión atmosférica propuesta por González y Romo (2011). Dicha técnica consiste en generar una lluvia de arena uniforme en un área determinada, favoreciendo la formación de depósitos homogéneos y reproducibles, con dimensiones no convencionales, en un laboratorio de mecánica de suelos. El equipo empleado (Figura 5)

combina el uso de una placa perforada y dos mallas, por lo que se conjugan la característica de dispersión de una placa perforada con la propiedad de homogeneidad en la depositación provista por las mallas. La placa posee un patrón cuadrado de orificios con diámetro y espaciamiento de 4 y 10 mm respectivamente, mientras que las mallas presentan una abertura de 4,23 mm (1/6").

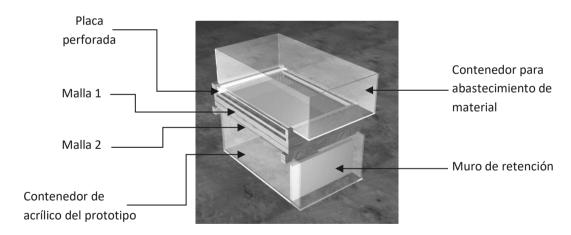


Figura 5. Equipo de pluviación

2.3. Señales de excitación

Todos los ensayos fueron realizados con movimientos de tipo senoidal, cuyas características corresponden a aceleraciones de 0,05 y 0,10 g, cada una de ellas con frecuencias de 1, 2 y 3 Hz. Estas características son el resultado de considerar la configuración de los prototipos a ensayar, así como las especificaciones de la mesa vibradora a emplear, además de las frecuencias y aceleraciones más incidentes en una base de datos de cuarenta registros acelerográficos correspondientes a sismos fuertes ocurridos en la república mexicana (Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C., 1999).

2.4. Procesamiento de la información

De acuerdo a los sensores instalados en los prototipos, durante cada ensayo se obtuvieron registros de carga y aceleración. La captura de los datos se realizó cada intervalo de tiempo Δt , establecido previamente en función del periodo y por ende de la frecuencia de operación ($\Delta t = T/128$, donde T es el periodo en segundos). Cada señal adquirida fue procesada a fin de ser analizada posteriormente.

El procesamiento de la información consistió en corregir por línea base cada registro. Posteriormente, se obtuvo el espectro de amplitudes de Fourier para

continuar con el filtrado para baja de la señal, a modo de obtener registros próximos a una señal senoidal, sin alterar apreciablemente los valores máximos experimentales. Finalmente, el registro filtrado fue corregido por línea base (González, 2012).

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se llevaron a cabo ensayes en mesa vibradora de los prototipos descritos anteriormente aplicando, en la base de los mismos, las señales tipo senoidal ya mencionadas. Previamente a los ensavos dinámicos, se realizó la adquisición de datos concerniente a la condición estática, permitiendo obtener los perfiles de carga horizontal estática, Ph-est, presentados en la Figura 6. En el caso de condición dinámica, la Figura 7 presenta resultados representativos de distribuciones de carga horizontal máxima, Ph-din. En términos generales, la presencia de una inclusión compresible en el respaldo de un muro de retención rígido, permite atenuar las cargas horizontales transmitidas al muro por un relleno de material granular hasta en un 30%. La comparación entre la excitación (acelerómetro A1) y las respuestas monitoreadas (acelerómetro A2) indica que la frecuencia fundamental del relleno, debido confinamiento, es superior a 5 Hz.

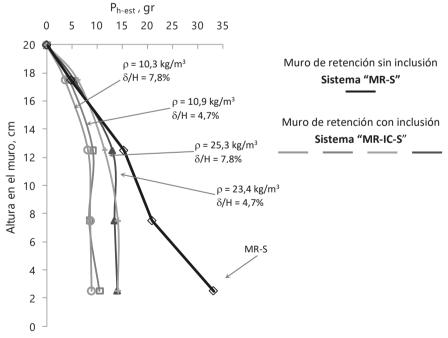
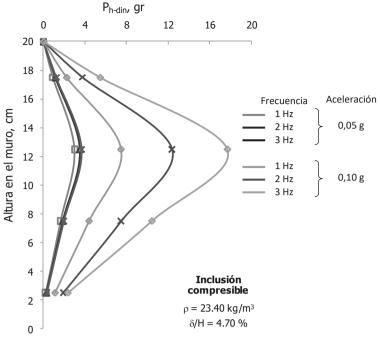


Figura 6. Distribuciones de carga horizontal estática



a. Efecto de las características de la señal de excitación

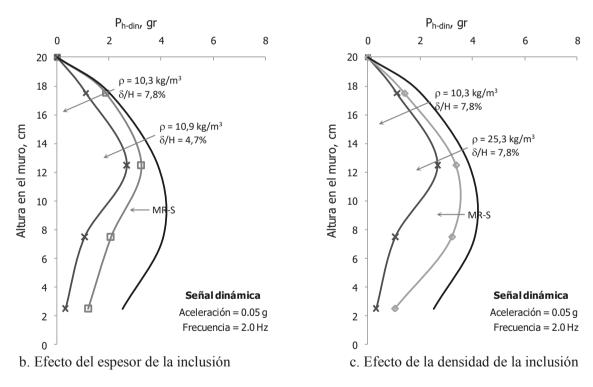


Figura 7. Distribuciones de carga horizontal dinámica

Estáticamente, el decremento de los empujes transmitidos al muro es función de las propiedades de la inclusión, ya que, a mayor espesor y menor densidad de la misma, el porcentaje de reducción aumenta. En este estudio, la mayor atenuación de carga horizontal estática corresponde al sistema de retención con inclusión compresible de 10,3 kg/m³ de densidad y relación espesor/altura del muro de 7,8% (Figura 6).

Dinámicamente, las reducciones de carga horizontal dependen tanto de la densidad y el espesor de la inclusión como de las características de la señal de excitación (aceleración y frecuencia). Al aplicar un movimiento tipo senoidal en la base de un muro, la fuerza ejercida por el material de relleno sobre el muro es función de la frecuencia y la aceleración del movimiento, como se muestra en la Figura 7a. Nótese que el efecto de la frecuencia de la excitación es depreciable para aceleraciones bajas; sin embargo, para aceleraciones mayores, al aumentar la frecuencia, se incrementan los empujes, lo cual es congruente con la respuesta dinámica de cuerpo de alta rigidez del relleno.

En el caso de una misma señal dinámica, el efecto del uso de una inclusión compresible en el respaldo de un muro, así como las propiedades de la misma (espesor y densidad) puede apreciarse en las Figuras 7b y 7c. De estas Figuras, se desprende que la atenuación de las cargas horizontales aumenta a medida que crece el espesor y disminuye la densidad de la IC.

$$\kappa = \frac{P_{\text{h-din máx (MR-IC-S)}}}{P_{\text{h-din máx (MR-S)}}} \cdot 100$$

$$\alpha = \frac{(\rho/\rho_0)}{(\delta/H)}$$

De acuerdo a las expresiones 1 y 2, la relación de cargas κ está en porcentaje y la relación α es adimensional.

Para cada una de las aceleraciones empleadas (0,05 y 0,10 g), la Figura 8 muestra el efecto de las propiedades de las IC (α) en la relación de cargas dinámicas horizontales (κ) . En esta Figura, se aprecia que la tendencia de κ es prácticamente independiente de la frecuencia de excitación, mientras que la relación de propiedades de la inclusión compresible α exhibe una

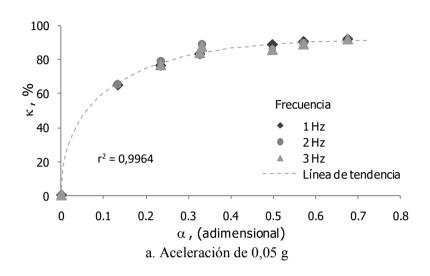
En general, la carga horizontal dinámica máxima cuando existe una IC. fue registrada predominantemente por los sensores ubicados a 12,5 cm de la altura del muro, aproximadamente 2/3 de la altura del muro. En ausencia de IC, la presión máxima ocurrió aproximadamente a 1/3 de la altura del muro, lo cual discrepa de las hipótesis usuales de que ésta actúa a 2/3 de la altura, pero concuerda con resultados obtenidos de ensayos de modelos en mesa vibradora (Sitar y Al-Atik, 2009). Con los resultados obtenidos en esta investigación, en términos de empujes dinámicos máximos, a continuación, se plantean ecuaciones que permiten conocer el porcentaie de atenuación del empuje dinámico en un sistema de retención al emplear una inclusión compresible de cierto espesor y densidad.

4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN: MÉTODO M-M-O

Con el objetivo de plantear un método de estimación de empujes dinámicos en sistemas MR-IC-S, método Modificado Mononobe-Okabe (M-M-O), se definieron las relaciones " κ " y " α ". La primera (κ), relaciona la carga horizontal dinámica máxima registrada en los sistemas MR-IC-S, $P_{h\text{-din }m\acute{a}x\ (MR-IC-S)}$, con la carga correspondiente del sistema MR-S, $P_{h\text{-din }m\acute{a}x\ (MR-S)}$ (ecuación 1); mientras que la segunda relación (α), involucra las propiedades de la inclusión compresible, densidad (ρ) y espesor (δ), normalizadas respecto a la densidad del agua (ρ_0 = 1,000.0 kg/m³) y a la altura del muro (H), respectivamente (ecuación 2).

influencia marcada sobre κ , ya que, a medida que aumenta α el valor de κ es mayor. Agrupando las tendencias de éstas presentadas en las Figuras 8a y 8b, se obtiene la Figura 9, de donde se concluye que la relación κ tampoco depende de la aceleración de excitación y su comportamiento, respecto a las propiedades de la inclusión (α), puede describirse con la relación 3, obteniendo un coeficiente de determinación (r^2) superior a 0,99.

$$\kappa = -187,19 \times + 29,68 \times^{2.5} + 250,34 \times^{0.5}$$
 (3)



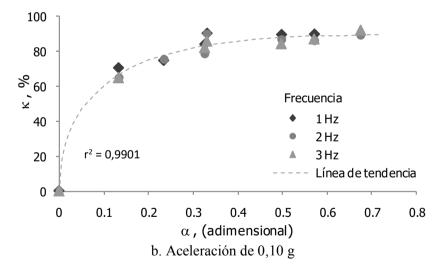


Figura 8. Relación α versus κ

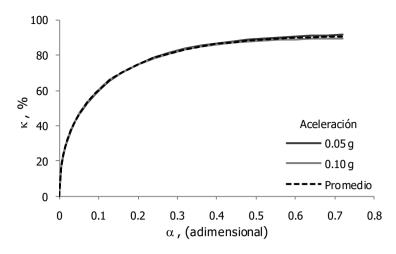


Figura 9. Relación teórica κ versus α

Debido a que los parámetros α y κ resultan de una normalización, se puede argüir que sus valores se mantendrán prácticamente inalterados para prototipos geométricamente diferentes y excitaciones dinámicas con otras características frecuenciales (investigaciones para reforzar o desechar este argumento están en proceso). Para los rangos de densidad y espesor de la IC considerados en esta investigación, la Tabla 1

presenta los valores de la relación α correspondientes, observándose que dicha relación decrece a medida que la densidad de la inclusión (normalizada con respecto a ρ_0) disminuye y el espesor de la misma (normalizado con respecto a H) aumenta, propiciando un incremento en la atenuación (ecuación 4) de las cargas horizontales, tal como lo indican los resultados experimentales.

Atenuación de
$$P_{h-din} = 100 - \kappa$$
 (4)

Tabla 1. Valores de la relación α

		δ/Η						
		0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
ρ/ρ。	0.010	0.25	0.20	0.17	0.14	0.13	0.11	0.10
	0.012	0.30	0.24	0.20	0.17	0.15	0.13	0.12
	0.014	0.35	0.28	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14
	0.016	0.40	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16
	0.018	0.45	0.36	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18
	0.020	0.50	0.40	0.33	0.29	0.25	0.22	0.20
	0.022	0.55	0.44	0.37	0.31	0.28	0.24	0.22
	0.024	0.60	0.48	0.40	0.34	0.30	0.27	0.24
	0.026	0.65	0.52	0.43	0.37	0.33	0.29	0.26
	0.028	0.70	0.56	0.47	0.40	0.35	0.31	0.28
	0.030	0.75	0.60	0.50	0.43	0.38	0.33	0.30
	0.032	0.80	0.64	0.53	0.46	0.40	0.36	0.32
	0.034	0.85	0.68	0.57	0.49	0.43	0.38	0.34

Cabe destacar que la relación κ , al combinar cargas dinámicas horizontales de sistemas MR-IC-S y MR-S, hace despreciable los efectos de la frecuencia y de la aceleración de la excitación, tal como lo indican las Figuras 8 y 9, respectivamente. Sin embargo, tanto la aceleración como la frecuencia de excitación inciden en la magnitud de las cargas horizontales registradas (Figura 7a).

Con las relaciones establecidas (κ y α), para conocer el empuje dinámico transmitido a la estructura de retención de un determinado sistema MR-IC-S, es necesario calcular el empuje correspondiente al sistema convencional MR-S. Esto es posible empleando un método tradicional, como lo es el método Mononobe-Okabe, descrito someramente a continuación.

Método Mononobe-Okabe (M-O)

El método propuesto por Mononobe y Okabe (1929-1926) obedece a una extensión de la teoría de la cuña deslizante de Coulomb, para condiciones seudo-estáticas. Este método permite obtener presiones dinámicas sobre una estructura de retención con relleno de material granular, considerando propiedades de resistencia del suelo de relleno y de fricción muro-suelo, geometría del muro, aceleración de la gravedad y aceleraciones seudo-estáticas, tal como lo indican las siguientes expresiones.

$$P_{h \text{ (MR-S)}} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1-k_v) K_{ae}$$
 (5)

$$K_{ae} = \frac{\sin^2(\theta + \eta - \Box)}{\cos(\eta) \sin^2(\theta) \sin(\delta + \theta + \eta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\Box + \delta) \sin(\Box - \eta - \beta)}{\sin(\delta + \theta + \eta) \sin(\theta + \beta)}}\right]^2}$$
(6)

$$\eta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 - k_v} \right] \tag{7}$$

Donde $P_{h~(MR-S)}$ es la presión total activa; K_{ae} es el coeficiente de presión de tierra activa; k_h y k_v son las aceleraciones horizontal y vertical entre la aceleración de la gravedad, respectivamente; γ es el peso volumétrico del suelo; φ es el ángulo de fricción interna del suelo y δ es el ángulo de fricción en el contacto suelo-muro; β y θ son los correspondientes ángulos de inclinación de la superficie del relleno y del respaldo

del muro (en esta investigación se consideraron horizontal y vertical, respectivamente) y H es la altura del muro.

La presión de tierra activa total $(P_{h \text{ (MR-S)}})$ corresponde a la suma de la componente estática $(P_{h\text{-est (MR-S)}})$, ecuación 9) y la dinámica $(P_{h\text{-din (MR-S)}})$, como lo indica la siguiente expresión.

$$P_{h \text{ (MR-S)}} = P_{h-\text{est (MR-S)}} + P_{h-\text{din (MR-S)}}$$
(8)

$$P_{\text{h-est (MR-S)}} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$$
 (9)

En la ecuación anterior, K_a es el coeficiente de presión de tierra activa en condición estática (ecuación 10).

$$K_a = \frac{1 - \operatorname{sen} \phi}{1 + \operatorname{sen} \phi} \tag{10}$$

Nótese que en este planteamiento se acepta que el muro y el suelo de relleno se mueven en fase, lo cual es razonable para el caso de muros empotrados y relleno confinado. Para otras condiciones, el efecto de la inercia del muro se puede incluir. Esta consideración es directamente aplicable a sistemas MR-IC-S.

Finalmente, conjuntando las relaciones κ y α con el método M-O, se propone el Método Modificado Mononobe-Okabe (M-M-O) para obtener empujes dinámicos en sistemas MR-IC-S. La descripción del método se presenta a continuación.

Método Modificado Mononobe-Okabe (M-M-O)

Este método permite obtener las presiones dinámicas sobre una estructura de retención rígida con inclusión compresible de EPS y relleno de material granular. También, brinda el porcentaje de atenuación de empujes respecto a un sistema similar sin inclusión compresible. Al tratarse de una modificación del método planteado por Monobe y Okabe, el método M-M-O considera las siguientes hipótesis:

- Desarrollo de un movimiento que genera una condición activa en el estado de esfuerzos del suelo.
- Al alcanzarse la presión activa mínima, la cuña de suelo detrás del muro estará en un punto incipiente de falla y la resistencia al esfuerzo cortante máxima será movilizada a lo largo de la superficie de falla.
- El suelo de relleno se considera como cuerpo rígido, así que no existe amplificación de la aceleración; por consiguiente, el efecto de un movimiento sísmico puede ser representado mediante fuerzas de inercia.

Para aplicar el método M-M-O, después de tener planteada la geometría y propiedades de los materiales involucrados en el sistema MR-IC-S de interés, se deben seguir los dos pasos siguientes:

- Paso 1: Cálculo del empuje dinámico en el sistema MR-S (P_{h-din (MR-S)}). Para esto se considera el sistema convencional sin inclusión y se aplica la siguiente ecuación.

Donde $P_{h (MR-S)}$ y $P_{h\text{-est}(MR-S)}$ están definidas por las ecuaciones 5 y 9, respectivamente.

$$\mathbf{P_{h\text{-}din\,(MR-S)}} = \mathbf{P_{h\,(MR-S)}} - \mathbf{P_{h\text{-}est\,(MR-S)}}$$
 (11)

- **Paso 2**. Cálculo del empuje dinámico en el sistema MR-IC-S (P_{h-din (MR-IC-S)}). En este caso es necesario seguir el procedimiento descrito a continuación.

Proponer valores de densidad y espesor de la inclusión compresible.

Obtener la relación "\aa", con la ecuación 2.

$$\mathbf{P_{h\text{-din}\,(MR\text{-IC-S})}} = \frac{\kappa \cdot \mathbf{P_{h\text{-din}\,(MR\text{-S})}}}{100} \tag{12}$$

Calcular la relación o factor de reducción " κ ", con la ecuación 3.

Determinar el empuje dinámico del sistema MR-IC-S, empleando la ecuación 1 para despejar dicha variable, tal como se indica en la ecuación 12.

Finalmente, hallar el porcentaje de atenuación del empuje dinámico, con la ecuación 4.

5. MÉTODO M-M-O: APLICACIÓN

Con objeto de ilustrar la aplicación del método M-M-O, se presenta a continuación un ejemplo de aplicación del método M-M-O.

Ejemplo de aplicación

Durante el diseño de un muro de retención de 5 m de altura, que contendrá un depósito de material granular cuyo peso volumétrico es 1.650,0 kg/m³, es necesario conocer el porcentaje de atenuación del empuje dinámico al emplear una inclusión de poliestireno expandido. En este caso se considera una inclusión de 0,50 m de espesor y 20 kg/m³ de densidad.

Paso 1. Cálculo del empuje dinámico en el sistema MR-S (P_{h-din (MR-S)}) – Método M-O

Considerando un sistema de retención convencional (sin inclusión), se empleará el método Mononobe-Okabe para determinar la presión dinámica, ejercida por el material de relleno, sobre la estructura de retención. Para realizar este cálculo se cuenta con la información de la siguiente Tabla.

Tabla 2. Información general

Coeficiente sísmico horizontal, kh	0,17
Coeficiente sísmico vertical, k _v	0,06
Peso volumétrico del relleno, γ	1.650,0 kg/m ³
Ángulo de fricción del relleno, φ	30°
Ángulo de fricción en el contacto suelo-muro, δ	30°
Ángulo de inclinación del relleno, β	0°
Ángulo de inclinación del respaldo del muro, θ	90°
Altura del muro, H	5 m

Con la información de la Tabla 2, se procede al cálculo del parámetro η (expresión 7), el coeficiente de presión

de tierra dinámico K_{ae} (expresión 6) y el empuje total $P_{h \text{ (MR-S)}}$ (expresión 5).

$$\begin{split} \eta &= tan^{\text{-}1} \left[\frac{k_h}{1-k_v}\right] = tan^{\text{-}1} \left[\frac{0,17}{1-0,06}\right] = 10,\!25 \\ K_{ac} &= \frac{sen^2(\theta + \eta - \varphi)}{cos(\eta) \ sen^2(\theta) \ sen(\delta + \theta + \eta)} \left[1 + \sqrt{\frac{sen(\varphi + \delta) \ sen(\varphi - \eta - \beta)}{sen(\delta + \theta + \eta) sen(\theta + \beta)}}\right]^2 \\ K_{ac} &= \frac{sen^2(90 + 10,\!25 - 30)}{cos(10,\!25) \ sen^2(90) \ sen(30 + 90 + 10,\!25)} \left[1 + \sqrt{\frac{sen(30 + 30) \ sen(30 - 10,\!25 - 0)}{sen(30 + 90 + 10,\!25) sen(90 + 0)}}\right]^2} = 0,\!4498 \\ P_{h \, (MR-S)} &= \frac{1}{2} \gamma \, H^2 \, (1 - K_v) \, K_{ac} = \frac{1}{2} \cdot 1.650,\!0 \cdot 5^2 \cdot (1 - 0,\!06) \cdot 0,\!4498 = 8.720,\!5 \, kg \end{split}$$

Posteriormente, se procede al cálculo de la componente estática del empuje (ecuaciones 9 y 10) y por consiguiente la componente dinámica (ecuación 11).

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} = 0,33$$

$$P_{\text{h-est (MR-S)}} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a = \frac{1}{2} \cdot 1.650,0 \cdot 5^2 \cdot 0,33 = 6.875,0 \text{ kg}$$

 $P_{h-din (MR-S)} = P_{h (MR-S)} - P_{h-est (MR-S)} = 8.720,5 \text{ kg} - 6.875,0 \text{ kg} = 1.845,5 \text{ kg}$

Paso 2. Cálculo del empuje dinámico en el sistema MR-IC-S (P_{h-din (MR-IC-S)}) – Método M-M-O

Una vez calculado el empuje dinámico en el sistema MR-S, P_{h-din (MR-S)}, se requiere conocer el empuje que se transmitirá al muro si se emplea una inclusión compresible de poliestireno expandido con densidad de

20 kg/m 3 y espesor de 0,50 m, correspondientes a $\delta/H=10\%$.

Con la información anterior, se prosigue al cálculo de la relación α (ecuación 2) y posteriormente se halla la relación κ (ecuación 3).

$$\alpha = \frac{(\rho/\rho_o)}{(\delta/H)} = \frac{(20/1.000,0)}{(0,5/5)} = 0.2$$

$$\kappa = -187,19 \times +29,68 \times^{2.5} +250,34 \times^{0.5} = (-187,19 \cdot 0,2) + (29,68 \cdot 0,2^{2,5}) + (250,34 \cdot 0,2^{0,5}) = 75,05\%$$

Sabiendo que κ es la relación entre el empuje del sistema de retención con y sin inclusión, se prosigue

con el cálculo del empuje dinámico en el sistema MR-IC-S, utilizando la ecuación 12.

$$P_{\text{h-din (MR-IC-S)}} = \frac{\kappa \cdot P_{\text{h-din (MR-S)}}}{100} = \frac{75,05 \cdot 1.845,5}{100} = 1.385,05 \text{ kg}$$

Finalmente, el porcentaje de atenuación del empuje dinámico al emplear una inclusión compresible corresponde a (ecuación 4):

Atenuación de
$$P_{h-din} = 100 - 75,05 = 24,95\%$$

En conclusión, un muro de 5 m de altura que retiene material granular, estará sujeto a un empuje dinámico de 1.845,5 kg. Este empuje se podrá reducir

aproximadamente un 25% si se considera una inclusión compresible de EPS, de 0,50 m de espesor y 20 kg/m³ de densidad.

6. CONCLUSIONES

En muros rígidos de retención empotrados, las presiones laterales ejercidas sobre ellos pueden ser atenuadas, tanto estática como dinámicamente, al considerar una inclusión compresible de poliestireno expandido.

En condiciones estáticas, la atenuación de los empujes de tierra dependerá de las propiedades de la inclusión compresible; mientras que, en condiciones dinámicas, la disminución de los empujes estará en función tanto de las propiedades de la inclusión como de las características de las señales de excitación.

En muros rígidos de retención empotrados, con o sin inclusión compresible, las cargas horizontales aumentan a medida que se incrementa la aceleración o la frecuencia de la señal de excitación. En el caso de sistemas de retención con inclusión compresible, la atenuación de dichas cargas aumenta a medida que disminuye la densidad o incrementa el espesor de la inclusión compresible.

El método Modificado M-O (método M-M-O) es una extensión analítica del método Mononobe-Okabe (M-O), que permite calcular fácilmente los empujes dinámicos ejercidos en un sistema de retención con inclusión compresible, considerando tanto las características de la señal de excitación como las propiedades de la inclusión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Espumados de Estireno S.A. por proveer los bloques de EPS empleados en este estudio.

REFERENCIAS

- Athanasopoulos G., Nikolopoulou C. y Xenaki V. (2007). "Seismic isolation of earth-retaining structures by EPS geofoam compressible inclusions dynamic FE analyses", 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Thessaloniki, Grecia, Paper No. 1676.
- Bakhtin B. (2002). "Determination of seismic earth pressure on a retaining wall", Power Technology and Engineering, Vol. 36 (3): 187-189.
- Bathurst R.J., Zarnani S. y Gaskin A. (2007). "Shaking table testing of geofoam seismic buffers", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 27: 324-332.
- El-Emam M.M. y Bathurst R.J. (2004). "Experimental design, instrumentation and interpretation of reinforced soil wall response using a shaking table", International Journal of Physical Modelling in Geotechnics, No. 4: 13-32.
- González C.M. (2012). "Mecanismo de disipación de energía dinámica en estructuras de retención con inclusiones compresibles", Tesis de doctorado, Facultad de Ingeniería de la Universidad

- Nacional Autónoma de México, México. En proceso de publicación.
- González C.M. y Romo M.P. (2008). "Coeficientes de fricción estática y dinámica en interfaces de distintos materiales", Presentado en el XVII International Materials Research Congress, Cancún, México.
- González C.M. y Romo M.P. (2011). "Formación de grandes volúmenes de arena mediante pluviación", Proceedings 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Toronto, Canadá, Paper No. 367.
- González C.M. y Romo M.P. (2012a). "Inclusiones compresibles en estructuras de retención: Desempeño estático y dinámico", Memorias XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Cancún, México.
- González C.M. y Romo M.P. (2012b). "Wall-inclusion-sand backfill dynamic interaction: Energy-dissipation mechanism", Second International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, Taormina, Italia, Paper No. 5.10.
- Hazarika H. y Okuzono S. (2004). "On the performance enhancenment of a soil-structure system with sandwiched inclusion", The 11th International

- Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Berkeley, Vol. 1: 257-263.
- Horvath J.S. (2008). "Extended Veletsos-Younan model for geofoam compressible inclusions behind rigid, non-yielding earth-retaining structures", Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics IV Congress, ASCE, Sacramento, California, U.S.A.
- Karpurapu R. y Bathurst R.J. (1992). "Numerical investigation of controlled yielding of soil retaining wall structures", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 11(2): 115-131.
- Mononobe N. (1929). "On the determination of earth pressures during earthquakes", Proceedings World Engineering Conference, Vol. 9.
- Morrison E.E.Jr. y Ebeling R.M. (1995). "Limit equilibrium computation of dynamic passive earth pressure", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 32(3).
- Murphy G.P. (1997). "The influence of geofoam creep on the performance of a compressible inclusion", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 15: 121 – 131.
- Okabe S. (1926). "General theory of earth pressures", Journal of the Japanese Society of Civil Engineers, Tokyo, Vol. 12 (1).
- Ostadan F. y White W.H. (1998). "Lateral seismic soil pressure an updated approach", Pre-proceedings of UJNR Workshop on Soil-Structures Interaction, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California.
- Prakash S. y Nandkumaran P. (1979). "Earth pressures during earthquakes". Proceedings of the Second U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Stanford, pp.: 613-622.
- Romo M.P., Chen J.H., Lysmer J. y Seed H.B. (1980). "PLUSH A computer program for probabilistic finite element analysis of seismic soil-structure interaction", Report No. UCB/EERC-77/01,

- Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.
- Sitar N. y Al-Atik L. (2009). "On seismic response of retaining structures", Proceedings of International Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, Tsukuba City, Japan.
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C. (1999). "Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes", Volumen 2, México.
- Theodorakopoulos D., Chassiakos A.P. y Beskos D.E. (2001). "Dynamic pressures on rigid cantilever walls retaining poroelastic soil media. Part I: first method of solution", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 21(4): 315–338.
- Veletsos A. S. y Younan A. H. (1994). "Dynamic soil pressures on rigid vertical walls", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, No. 23: 275-301.
- Wood J. H. (1973). "Earthquake-induced soil pressures on structures". Report EERL 73-05, Earthquake Engineering Research Laboratory, California Institute of Technology.
- Zarnani S., Bathurst R.J. y Gaskin A. (2005). "Experimental investigation of geofoam seismic buffer using a shaking table", Proceedings of the North American Geosynthetics Society (NAGS)/GRI19 conference, Las Vegas, U.S.A.

CÓDIGO DE CLASIFICACIÓN

330506

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 PETROLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CRUZ Y DÁVILA INGENIEROS CONSULTORES 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.

JAIME ILLANES Y ASOCIADOS CONSULTORES 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.







