

Revista Chilena de INGENIERIA

ISSN 0370 - 4009 / N° 500 / Diciembre 2023



Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 135, N° 3 / ISSN 0716 - 2340

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

JUNTA EJECUTIVA

Presidenta

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Primer Vicepresidente

Ricardo Nicolau del Roure G.

Segundo Vicepresidente

Cristian Hermansen Rebolledo

Tesorero

Jorge Pedrals Guerrero

Protesorero

Juan Carlos Barros Monge

Secretario

Germán Millán Valdés

Prosecretaria

Ximena Vargas Mesa

DIRECTORIO 2023

Hernán Alcayaga S.

Elías Arze Cyr

Dante Bacigalupo Marió

Marcial Baeza Setz

Cristian Barrientos Gutiérrez

Juan Carlos Barros Monge

Fernando Bravo Fuenzalida

Juan E. Castro Cannobbio

Alex Chechilnitzky Zwicky

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Alejandra Decinti Weiss

Roberto Fuenzalida González

Rodrigo Gómez Álvarez

Mauro Grossi Pasche

Cristian Hermansen Rebolledo

Nicolás Majluf Sapag

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Valdés

Marcela Munizaga Muñoz

Eduardo Muñoz Castro

Juan Music Tomicic

Luis Nario Matus

Ricardo Nicolau del Roure G.

José Orlandini Robert

Jorge Pedrals Guerrero

Luis Pinilla Bañados

Daniela Pollak Aguiló

Miguel Ropert Dokmanovic

Alejandro Steiner Tichauer

Ximena Vargas Mesa

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA
DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA
ANTISÍSMICA, ACHISINA.

Presidente: Jorge Carvallo W.

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

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA, SOCHID.

Presidente: Hernán Alcayaga S.

SOCIEDAD CHILENA
DE GEOTECNIA, SOCHIGE.

Presidente: Roberto Gesche S.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
DE TRANSPORTE, SOCHITRAN.

Presidenta: Marisol Castro A.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN
EN INGENIERÍA, SOCHEDI.

Presidente: Raúl Benavente G.

COMISIONES DEL INSTITUTO

Cambio climático y el agua.

Presidente: Luis Nario M.

Comunicaciones.

Presidente: Germán Millán V.

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

Presidente: Jorge Pedrals G.

Ingenieros en la historia presente.

Presidente: Miguel Ropert D.

La buena empresa: nuevos desafíos de gestión.

Presidente: Nicolás Majluf S.

Práctica y academia en la ingeniería chilena.

Presidenta: Silvana Cominetti C.

Propuestas desde la ingeniería para superar la pobreza.

Presidente: Juan Enrique Castro C.

Prospectivas de la ingeniería chilena (II parte).

Presidente: Jorge Yutronic F.

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

Presidente: Eduardo Muñoz C.

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Bruno Behn Theune

Sergio Bitar Chacra

Francisco Brieva Rodríguez

Mateo Budinich Diez

Juan Enrique Castro Cannobbio

Jorge Cauas Lama

Joaquín Cordua Sommer

Alex Chechilnitzky Zwicky

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Sergio Lavanchy Merino

Agustín León Tapia

Nicolás Majluf Sapag

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

José Rodríguez Pérez

Rodolfo Saragoni Huerta

Mauricio Sarrazin Arellano

Raúl Uribe Sawada

Luis Valenzuela Palomo

Solano Vega Vischi

Hans Weber Münnich

Andrés Weintraub Pohorille

Jorge Yutronic Fernández

Hoy todos

SOMOS VERDES

Porque el verde más que un color es una **Acción Diferente**

Súmate a todo lo verde que estamos haciendo y conoce nuestros productos en Bci.cl

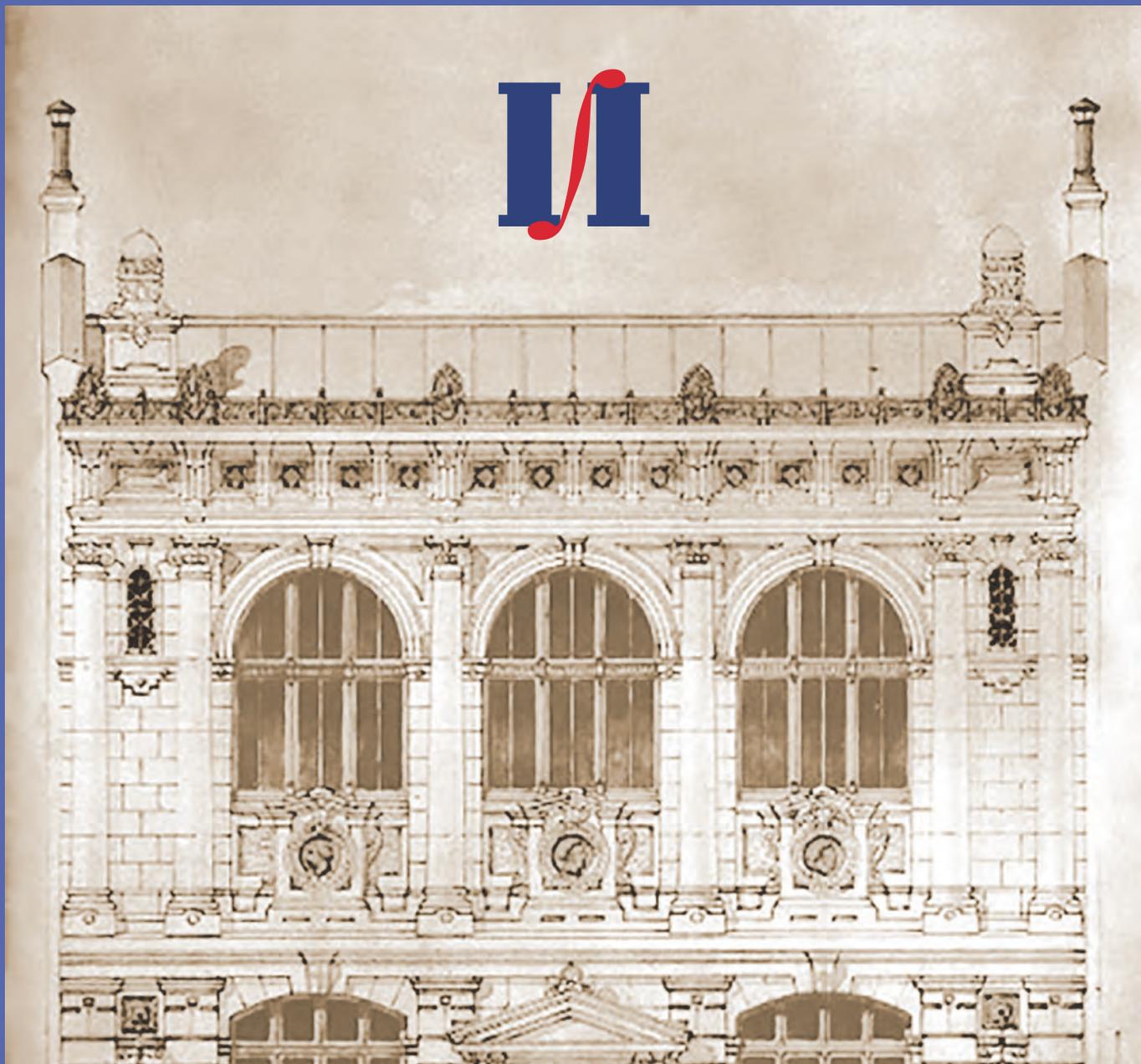
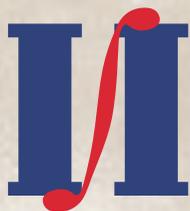
Crédito Hipotecario Verde

Seguro Automotriz Verde

Descuentos en Comercios Sostenibles

Leasing Verde





Nuestros canales digitales:

Sitio web: www.iing.cl

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

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

Nuestros teléfonos:

(+56) 22696 8647 · (+56) 93736 0656



Nuestra portada

Los Premios que el Instituto confiere anualmente, son una acción a la que nuestra Corporación otorga suma importancia y dedicación. Las comisiones que informan al Directorio, lo hacen después de un acabado estudio. Por lo tanto, dichos Premios honran a quienes los reciben y, al mismo tiempo, honran al propio Instituto. Nuestra portada muestra un collage con fotografías de los premiados en 2023, con el Ingeniero Medalla de Oro al centro. Felicitaciones a todos.

REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA N° 500, diciembre de 2023

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

DIRECTOR

Raúl Uribe S.

CONSEJO EDITORIAL

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

REPRESENTANTE LEGAL

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

SECRETARIO GENERAL

Carlos Gauthier T.

SECRETARÍA

Patricia Núñez G.

DIAGRAMACIÓN

versión productora gráfica SpA

EDITORIAL

Pág. 2

INNOVACIÓN DESDE VALPARAÍSO HASTA SILICON VALLEY. El camino para salvar vidas de pacientes con cáncer mediante la ingeniería y la medicina

Pág. 3

Conferencia del Sr. Ivan Krastev Dimov,
Cofundador y Director Ejecutivo de Orca Bio

PUERTO EXTERIOR DE SAN ANTONIO. La mayor expansión portuaria en la historia de Chile

Pág. 20

Conferencia de la Sra. Sally Bendersky S.,
Presidenta de Puerto San Antonio

PREMIO

“MEDALLA DE ORO – AÑO 2023”

Pág. 33

Al Ingeniero Sr. Sergio Lavanchy Merino

PREMIO

“AL INGENIERO POR ACCIONES DISTINGUIDAS – AÑO 2023”

Pág. 42

Al Ingeniero Sr. Leonardo Basso Sotz

PREMIO

“RAÚL DEVÉS JULLIAN – AÑO 2023”

Pág. 48

Al Ingeniero Sr. Patricio Aceituno Gutiérrez

PREMIO

“RAMÓN SALAS EDWARDS – AÑO 2023”

Pág. 56

Al desarrollo: “Orca-T, una terapia celular
alogénica de alta precisión en investigación
para pacientes con cánceres de la sangre que
sean elegibles para un trasplante de células
madre hematopoyéticas”

PREMIO A LOS ALUMNOS DESTACADOS DE INGENIERÍA CIVIL – AÑO 2023

Pág. 61

- Premio “Marcos Orrego Puelma”
- Premio “Ismael Valdés Valdés”
- Premio “Roberto Ovalle Aguirre”

ENTREVISTA

A INGENIEROS DESTACADOS.

Pág. 68

- SR. JAIME ILLANES PIEDRABUENA
- SR. RAÚL URIBE SAWADA

Comisión de Ingenieros en la Historia Presente
Presidente: Miguel Ropert D.

RECONOCIMIENTO

A NUESTROS SOCIOS

Pág. 72

El 30 de junio de 2023 se realizó la conferencia telemática del Sr. Ivan Krastev Dimov, desde California EEUU, quién expuso el tema: “Innovación desde Valparaíso hasta Silicon Valley: El Camino para Salvar Vidas de Pacientes con Cáncer mediante la Ingeniería y la Medicina”.

El señor Dimov, ingeniero civil eléctrico, tiene un doctorado en biofísica aplicada de la Dublin City University y una licenciatura y maestría en electrónica, telecomunicaciones e informática de la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Es cofundador y director ejecutivo de la empresa Orca Bio, Unicornio Científico, cuyo inicio se da en 2016. También es cofundador y exdirector de tecnología de Lucira Health, una empresa de diagnóstico molecular que recibió la primera autorización de la FDA para un dispositivo de autodiagnóstico de COVID-19 y gripe aviar. Ha establecido dos centros de investigación en Chile, en el campo de la robótica y tecnologías hospitalarias que brindan ingeniería clínica, e innovación tecnológica a los hospitales más grandes del país.

Dice que todo partió en la Universidad Santa María, donde “le enseñaron a pensar de una forma diferente, analizar el mundo de otra forma y ser mucho más curioso”. De ahí salió la idea de generar las primeras normas e introducirse en la interfaz entre ingeniería y medicina, lo que derivó en su inserción en ingeniería biomédica. La idea era tomar la tecnología y herramientas que se había desarrollado para la microelectrónica y aplicarlas al lado de la biología y de la experimentación con líquidos.

Todo su trabajo se ha plasmado recientemente en la construcción de la fábrica más avanzada de construcción de terapia celular de alta precisión en cualquier parte del mundo, de la cual es uno de sus socios.

Tras una muy interesante narrativa de su paso por diferentes universidades, describe detalladamente aspectos fundamentales que dieron origen a la invención de instrumentos tecnológicos, a nuevos remedios inmunológicos y a la optimización permanente de estos productos con la finalidad de producir mayores efectos sobre los pacientes.

El 12 de septiembre de 2023 se llevó a cabo la conferencia de la Sra. Sally Bendersky, Presidenta de Puerto San Antonio, quién expuso el tema: “Puerto Exterior de San Antonio. La mayor expansión portuaria en la historia de Chile”. La señora Bendersky fue la primera Presidenta del directorio de la Empresa Portuaria de San Antonio desde que fue creada en 1998 y es actualmente la Presidenta de la Academia de Ingeniería de Chile.

El Puerto de San Antonio atiende en la actualidad más del 52 % del comercio exterior del país y San Antonio es el primer puerto a nivel nacional en transferencia de carga. La participación en el comercio exterior marítimo es casi 31 % en toneladas, 33 % en las exportaciones y 65,3 % en las importaciones de todo el país. Se importan cereales, productos de retail, materiales de construcción, carga mayor, tales como equipamiento de trenes, buses y vehículos, entre otros. Se exporta cobre, fruta, vino, salmón.

La tendencia en el mundo se orienta a disminuir la cantidad de barcos y a agrandar la capacidad, lo que exige una inversión de acondicionamiento de los puertos para poder recibir más de un barco de 400 m de largo por vez.

Si bien es cierto que el puerto de San Antonio tiene una obligación con la Comunidad respecto de hacer un proyecto enorme e importante para la ciudad, no es menos cierto que la construcción del puerto exterior exige, también, contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de la población de la provincia. La inversión total del proyecto se estima en 3.900 millones de dólares, valores de 2023, de los cuales 1.400 corresponden a la inversión pública para la construcción de un enorme molo de abrigo.

En la noble misión de preservar la historia de ingenieros destacados, la Comisión de Ingenieros en la Historia Presente entrevistó a los ingenieros señores Jaime Illanes Piedrabuena y Raúl Uribe Sawada, de reconocida trayectoria en la profesión y en el Instituto.

El Instituto de Ingenieros de Chile hizo entrega de las distinciones del año 2023 a los señores Sergio Lavanchy Merino, Premio Medalla de Oro; Leonardo Basso Sotz, Premio Al Ingeniero por Acciones Distinguidas; Patricio Aceituno Gutiérrez, Premio Raúl Devés Jullian. De igual modo, se entregó la distinción al Sr. Iván Dimov quién lideró el desarrollo “Orca-T, una terapia celular alogénica de alta precisión en investigación para pacientes con cánceres de la sangre que sean elegibles para un trasplante de células madre hematopoyéticas”, Premio “Ramón Salas Edwards; y a los Alumnos Destacados de Ingeniería Civil, los Premios Marcos Orrego Puelma, Ismael Valdés Valdés y Roberto Ovalle Aguirre.

INNOVACIÓN DESDE VALPARAÍSO HASTA SILICON VALLEY

El camino para salvar vidas de pacientes con cáncer mediante la ingeniería
y la medicina

Conferencia de Sr. Ivan Krastev Dimov, Cofundador y Director Ejecutivo de Orca Bio



Sr. Ivan Krastev Dimov.

El día viernes 30 de junio de 2023 a las 12:00 horas - vía zoom, desde California EEUU ante una gran concurrencia del ámbito académico, público y privado, se realizó la conferencia del Sr. Ivan Krastev Dimov, quién expuso el tema: “Innovación desde Valparaíso hasta Silicon Valley: El Camino para Salvar Vidas de Pacientes con Cáncer mediante la Ingeniería y la Medicina”.

El Sr. Dimov es director ejecutivo de Orca Bio. También es cofundador y exdirector de tecnología de Lucira Health, una empresa de diagnóstico molecular que recibió la primera autorización de la FDA para un dispositivo de autodiagnóstico de COVID-19 y gripe en el hogar. Antes de Orca Bio. El Sr. Dimov fue miembro de Siebel e instructor visitante en el laboratorio de Irv Weissman y científico principal en la Universidad de Stanford. También fue investigador invitado en el BioPOETS Lab de la Universidad de California, Berkeley, donde desarrolló innovadoras plataformas microfluídicas para la investigación con células madre y el diagnóstico molecular de bajo costo.

Anteriormente en su carrera, fundó BlobCode Technologies, una startup que incorpora capacidades de lectura de códigos de barras 2D usando la cámara estándar dentro de un teléfono móvil.

El Sr. Dimov tiene un doctorado en biofísica aplicada de Dublin City University y una licenciatura y maestría en electrónica, telecomunicaciones e informática de la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Ha establecido dos Centros de Investigación en Chile en el campo de la robótica y las tecnologías hospitalarias que brindan ingeniería clínica e innovación tecnológica a los hospitales más grandes del país. Ha publicado más de 40 artículos en revistas revisadas por pares y tiene más de 40 solicitudes de patentes.

Sra. Silvana Cominetti

—El Instituto de Ingenieros de Chile, que este año cumple 135 años de existencia, por medio de las conferencias mensuales, va cumpliendo con los objetivos de fomentar el conocimiento y progreso de la ingeniería, tratar los problemas que afectan a la ingeniería, contribuir al prestigio y desarrollo de la ingeniería, colaborar en la solución de problemas de interés nacional y aportar al desarrollo del país.

En esta ocasión, hemos extendido nuestra invitación no solo a profesionales del área de la ingeniería, sino que también, y muy especialmente, a profesionales del área de la salud. Estas dos áreas, aparentemente alejadas una de otra en la práctica han estado muy unidas y se van acercando a pasos agigantados.

Solo por mencionar algunos ejemplos, podemos nombrar el desarrollo de dispositivos médicos, como equipos de diagnósticos por imagen, sistemas de monitorización de pacientes, prótesis y dispositivos de asistencia médica, telemedicina, inteligencia artificial, análisis de datos masivos y construcción de estructuras hospitalarias, entre otras.

Por ello, hoy tenemos a un invitado muy especial, el ingeniero civil eléctrico Iván Krastev Dimov, quien nos contará el camino que está recorriendo, en el que, a través de la ingeniería, hoy está aportando a mejorar procesos que implican salvar vidas, y eso desde Valparaíso a Silicon Valley.

Creemos que vale la pena y es muy importante concebir la ingeniería como motor de desarrollo en muchos ámbitos, a veces inimaginables, pero que están permitiendo aportar al bienestar de la sociedad, con innovaciones relevantes que nos llenan de orgullo.

Agradecemos a nuestro conferencista Señor Iván Krastev Dimov, quien ha logrado darnos este espacio de su valioso tiempo, desde California para contarnos sobre su trabajo y aportes a la salud.

Iván Dimov, es Cofundador y director ejecutivo de la empresa Orca Bio, Unicornio Científico, cuyo inicio se da en 2016. También es Cofundador y Ex director de tecnología de Lucira Health, una empresa de diagnóstico molecular que recibió la primera autorización de la FDA para un dispositivo de autodiagnóstico de COVID-19 y gripe aviar.

Antes de Orca Bio, Iván Dimov fue miembro de Siebel e instructor visitante en el laboratorio de Irving Weissman, científico principal en la Universidad de Stanford. También fue investigador invitado en el BioPOETS Lab de la Universidad de California Berkeley, donde desarrollo innovadoras plataformas microfluídicas, para la investigación con células madre, y diagnóstico molecular de bajo costo.

Anteriormente en su carrera, fundó BlobCode Technologies, Startup, que incorpora capacidades de lectura de códigos de barras 2D, usando la cámara estándar de un teléfono móvil.

Iván tiene un doctorado en biofísica aplicada en Dublín City University y es Ingeniero Civil Eléctrico con una Licenciatura y Maestría en Electrónica, Telecomunicaciones e Informática de la Universidad Técnica Federico Santa María Chile.

Ha establecido dos centros de investigación en Chile, en el campo de la robótica y tecnologías hospitalarias que brindan ingeniería clínica, e innovación tecnológica a los hospitales más grandes del país. Ha publicado más de 40 artículos en revistas indexadas y tiene más de 40 patentes o solicitudes de patentes.

Sr. Ivan Dimov

—Quiero contarles un poco de la historia personal de cómo fue mi camino de partir de un estudiante de Ingeniería Civil Electrónica en la Santa María en Valparaíso, y terminar hoy día, en el Silicon Valley, en California.

Trabajando en un área aparentemente distinta, empecé a estudiar cómo armar sistemas electrónicos y hoy día, estamos armando remedios y salvando pacientes con cáncer terminal a la sangre; la conexión y el camino no aparece muy obvio, por eso me gustaría contar y ojalá que eso les dé ciertas inspiraciones, ciertas ganas también de seguir caminos interesantes y que también les demuestre que todo es posible y que no tienen que limitarse. Si algo podemos sacar de esta charla, es que les den las ganas de tomar riesgos y que no se limiten a las mentalidades estándares que uno tiene normalmente. Todo partió en la Universidad Santa María, mi pasar ahí fue increíble, en el sentido de que la universidad me transformó. Yo venía del colegio y tenía una mentalidad bien cerrada en cómo interactuaba con el mundo y lo que fue impresionante con la Santa María,

fue de que no solo me dieron los conocimientos técnicos, sino que me enseñaron a pensar de una forma diferente, analizar el mundo de otra forma y ser mucho más curioso (Figura 1).



Figura 1

Mi camino parte en el año 1999 en la Universidad Santa María, donde entré a estudiar Ingeniería Civil Electrónica y, como mencionaba, lo impresionante que fue no solo aprender conocimientos técnicos, sino cómo pensar y cómo analizar los problemas y el mundo frente a mí, y fue una transformación muy profunda y creo que es una de las universidades que más me ha marcado como persona.

También me dio la oportunidad de poder explorar y ser emprendedor, en el sentido de que los profesores fueron muy acogedores, especialmente en el Departamento de Electrónica, cuando teníamos ideas interesantes, ideas locas; yo siempre tenía una atracción muy fuerte hacia la creación tecnológica, a la creación de soluciones nuevas, que ayudaran con los problemas cotidianos que tenemos.

Supongo que tengo una “flojera” bien fuerte y profunda, ya que siempre tengo las ganas de poder encontrar una solución tecnológica que me evite tener que enfrentar un problema, y eso siempre me ha motivado a encontrar soluciones tecnológicas a problemas que me molestan, y en ese sentido Santa María fue un gran lugar para poder explorar todas esas ideas. En el fondo, los profesores te dan el espacio, te dan acceso a los laboratorios, te dan acceso a herramientas, y también discuten ideas y tratan de apoyarte en tu exploración a nuevas hipótesis, a nuevas tecnologías.

Y eso, finalmente, me llevó a participar en muchas de las competencias, donde los alumnos a los que les gustaba la tecnología, podían iniciar sus propios inventos y una vez al año se hacían como un desafío en la Santa María y cada uno tenía que armar una máquina que de alguna manera abordara ese desafío, y ahí empecé con mis primeros proyectos y mis primeros intentos para nuevos inventos.

Rápidamente me di cuenta de que los problemas que uno trata de resolver son un poco más grandes de lo que uno cree. Al principio se requiere mucho más esfuerzo del que una sola persona puede aportar y, por ello, en especial me encantaba mucho la automatización de cosas físicas y la expresión máxima de eso es la robótica, en el fondo poder automatizar el trabajo que hace un humano, que lo haga una máquina (Figura 2).

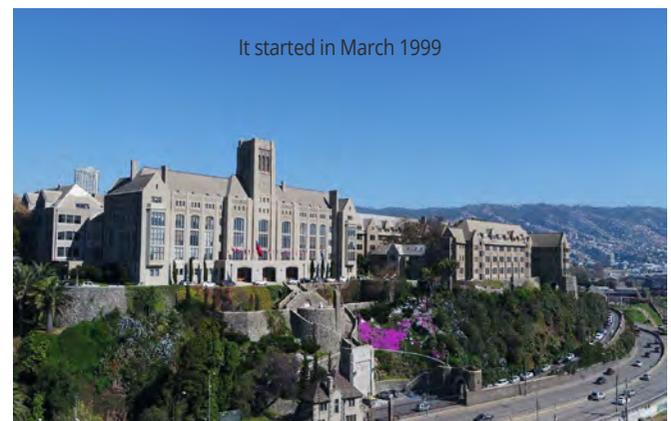


Figura 2

En ese sentido, llegamos a la idea de que, en vez de trabajar en forma solitaria, cada uno de nosotros cada vez que podíamos nos juntáramos en equipos y nos apoyáramos y así hacer proyectos cada vez más grandes y sofisticados. Y de ahí que se nos ocurrió la idea de armar el Centro de Robótica en la Santa María, que fue el primer centro en Chile en ese tipo de iniciativa, y básicamente era tratar de juntar todas las personas con intereses comunes, que les encantaba la tecnología, la automatización robótica, para que pudiéramos trabajar en desafíos más grandes.

Esa organización también nos permitió ofrecer nuestros servicios a parte de la Universidad, a distintos investigadores y así poder, en el fondo, ayudarlos hacer sus investigaciones, crear las soluciones tecnológicas y obviamente,

también participar en competencias de robóticas y esa iniciativa empezó a crecer cada vez más y se juntaron más y más personas. En la Figura 3, celebrando 10 años desde de la creación del Centro Robótica, eso fue en el 2010, entonces nosotros creamos el Centro más o menos en el año 2000, 2001.

Estuvimos, junto con mi socio Cristian Díaz, a cargo de éste por unos 2 a 3 años. Creamos las bases, la estructura y fue increíble como pudimos pasarlo a otros alumnos y eso siguió creciendo y creciendo. Los alumnos empezamos a ganar varios fondos de financiamiento y eso nos permitió meternos en muchas áreas, y hacer muchos desarrollos, muchas investigaciones y crecer cada vez más, fue como un acto de amor y de pasión. Muchos de nosotros no teníamos sueldos, nadie nos pagaba ningún dinero los primeros años, hasta que más tarde cuando empezó a crecer, fuimos partícipes de varios proyectos FONDEF y CONICYT y ahí, por fin pudimos tener recursos para poder pagar y cubrir algunos de los gastos y costos personales.

Y así salió de la nada y creció una cosa bien bonita y grande y muchas otras cosas y el resto de mi camino profesional, sale un poco desde esa experiencia del Centro, me enseñaron muchísimo y maduré un montón con esta experiencia.

Una consecuencia directa de los proyectos del Centro de Robótica, fue cuando unos profesores se acercaron y nos dijeron: nosotros estamos por un desafío en que queremos mejorar las normas electro médicas en Chile. Lo que sucede es que cuando uno va a un hospital donde usan muchas maquinarias, incluso, algunas de estas máquinas se ocupan durante cirugías, y cirugías bien complejas, de esas en que te abren el cuerpo entero y te conectan a máquinas, por ejemplo, SG para medir las ondas eléctricas que emanan del corazón, y los otros procesos fisiológicos que en el fondo funcionan cuando un paciente es muy frágil. Resulta que a veces estas máquinas pueden tener corrientes de fuga u otro parámetro eléctrico, que de forma inadvertida podrían generar problemas de daño al paciente y, a veces, en algunos de los casos extremos, los pacientes podrían morir. Por eso en el mundo existen normas de seguridad electro médica, pero en Chile esto está un poco menos avanzado, entonces la idea era tratar de generar normas modernas electro médicas de seguridad para hospitales chilenos y, obviamente que para eso necesitamos armar equipos, para medir si los equipos médicos que se ocupan en los hospitales son seguros o no.

De ahí salió la idea de generar estas primeras normas y empecé a meterme en el área más médica o la interfaz de ingeniería con la parte médica, finalmente eso nos llevó a no solo crear las primeras normas, sino que a crear los primeros equipos y obviamente la pregunta fue: ¿cómo vamos a desplegar todo eso al mundo médico? ¿cómo vamos a asegurar que todas estas normas se empiecen a cumplir?, y que todos estos test y chequeos se hagan bien. Entonces surgió la idea de generar otro Centro, pero esta vez con la Universidad de Valparaíso; los mismos socios que creamos el Centro de Robótica, creamos el Centro de Tecnología Hospitalaria. Hay una foto antigua de los equipos que habíamos creado nosotros inicialmente, que son los equipos que miden la seguridad de los equipos médicos.

También dimos muchas charlas en los hospitales, incluso tuvimos técnicos especializados, ingenieros de seguridad médica, en los distintos hospitales más importantes del país, para poder, en el fondo, chequear que toda la infraestructura tecnológica, esté segura y que no va a provocar ningún daño a los pacientes. Obviamente la idea del centro de tecnología hospitalaria fue creciendo más allá de la seguridad electrónica médica, también para, en general, tratar de apoyar todo el ciclo de vida del uso de la tecnología en los hospitales. Fue una experiencia muy importante y me acercó mucho al mundo médico.

Otro proyecto que hice en el Centro de Robótica fue una colaboración con el Centro de Biotecnología de la Universidad Santa María, donde el desafío era cómo generar un robot que pueda automatizar la construcción de chips de ADN, que en el fondo es una técnica anterior al moderno secuenciamiento genético. Cuando uno quería saber cuáles son los genes que estaban presentes en una célula, la única forma para mirar todos los genes de una sola vez —sabemos que tenemos decenas de miles de genes, que se activan y se expresan en todas las células de cualquier mamífero o humano todo el tiempo— y tener un mapa mental de todo lo que pasa, es desarrollar nuevas técnicas como los chip de ADN, que te permiten medir eso, y eso fue uno de los proyectos que surgió en el Centro de Robótica, para colaborar con el Centro de Biotecnología, ello, para generar estos robots que automatizan la construcción de esos chips de 30 mil genes diferentes, que podemos medir.

Eso me abrió el mundo más allá de la parte médica, así como macro, como hacia la Biología y lo que pasa microscópicamente en la vida; en el fondo, en células vivas,

y eso me fascinó enormemente, porque de repente me di cuenta de que una célula, si yo lo pienso como ingeniero electrónico, es una máquina ultra sofisticada que tiene un montón de niveles de control y es una maravilla ingenieril. Y si uno lo piensa desde ese punto de vista, hace ver a nuestra ingeniería, que creemos que es tan sofisticada, como algo en pañales, comparado con lo que ha hecho la naturaleza.

Entonces eso al final me empujó a irme en esa dirección a esa área, investigar más, y poder entender mucho mejor lo que pasa en la biología, y traer estos conceptos ingenieriles para poder entender mejor la biología y no solo entenderla, sino que idealmente poder controlarla para que haga cosas buenas, o por lo menos reparar problemas que podrían ocurrir, de origen biológico, y de ahí empezó mi gran interés desde la ingeniería pura, hacia la interfaz entre la biología y medicina y la ingeniería (Figura 3).

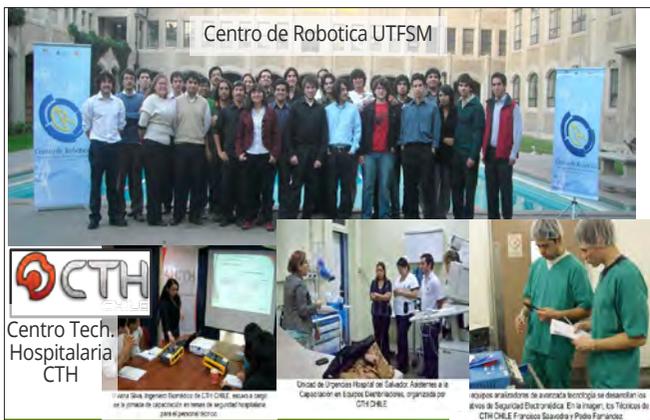


Figura 3

De mi interés surge toda el área de la ingeniería biomédica, entonces me fui al lado biomédico, y decidí hacer un doctorado en el área biomédica, que formalmente es un doctorado de biofísica aplicada, eso fue como la denominación formal, pero en el fondo es justamente entrar en la parte física ingenieril y conectar con la parte biológica y médica.

Llegué al Instituto de Diagnóstico Biomédico, en la Universidad de Dublín en Irlanda, Europa. Es un Instituto nuevo que recién lo habían creado, con un financiamiento del Gobierno irlandés, y tenían una misión bien grande, querían crear nuevas tecnologías de diagnóstico que nos permitiera abrir una ventana hacia la biología, y así como al control y cura de enfermedades que idealmente

revolucionen la medicina. Se habían ganado unos fondos del orden de unos 60 millones de euros, para poder hacer estos proyectos en un plazo de 5 años. Fue muy atractivo, muy linda experiencia llegar ahí desde el principio y ayudar a construir todos los laboratorios y construir, el enfoque de ese Centro y poder hacer mi doctorado en este contexto. Tengo muchas fotos de distintos proyectos en las cuales estuve inserto, que finalmente me llevaron hacia el camino en que estoy hoy día.

Obviamente que esto en un resumen, pero en lo que me enfoqué en mi doctorado, y mis investigaciones, fue la miniaturización de los pasos que se hacen en un laboratorio médico y en laboratorios de diagnóstico. La idea era tomar la tecnología y herramientas que se había desarrollado para la microelectrónica y todas estas herramientas que te permiten miniaturizar, cables, transistores, y elementos eléctricos, a nivel microscópico y en el fondo generar mucha intensidad de esos. De ahí salió la revolución de los computadores y de las telecomunicaciones. Entonces, la idea era ocupar esas mismas herramientas que generaron esa revolución que cambio a la sociedad, pero ahora aplicarlas al lado de la biología y de la experimentación con líquidos.

Y entonces, en vez de construir cables y transistores, podíamos construir micro tuberías, microcámaras de radioactividad y válvulas que controlan todos los pasos que suceden, y hacerlo todo a nivel microscópico, en el fondo hacer estas cámaras, estos canales del tamaño del diámetro de un pelo humano o cien veces más chico incluso.

En esa época estaba surgiendo toda esta área, el área de la microfluídica como se la conoce. Todos los investigadores de esta área estaban tratando de miniaturizar, y ver cómo podemos transformar lo que se hace en un laboratorio, en algo pequeño. La gracia de eso es que se pueden reducir los gastos de activos. Las reacciones menores ocurren más rápido, entonces puedo acelerar los procesos bioquímicos, puedo juntar muchas reacciones en un espacio muy chiquitito, entonces puedo realizar lo que se hace en laboratorios enormes a áreas muy pequeñas, y eso también nos permite democratizar o llevar a cualquier parte del mundo, cosas que, nuevamente, requerirían de gran infraestructura.

La idea surgió de ahí, de la misma manera que tuvieron ciertos países, cuando salieron los teléfonos inalámbricos, los celulares, que permitieron que los países no tuvieran que desarrollar la red de teléfonos cableados y pudieran

saltarse varios pasos tecnológicos y acceder a la tecnología más moderna y a todas las ventajas que tiene, sin pasar por todos estos pasos caros en que los que otros países tuvieron que invertir y de esa manera, dar acceso a tecnologías sofisticadas, a mucho más personas en el mundo, eso es un poco la visión del área de la microfluídica, miniaturización.

De aquí sacamos muchas publicaciones, hicimos muchos intentos de miniaturizar, un montón de cosas que ocurren en los laboratorios, algunos con más éxito y otros con menos y fue una experiencia muy grata que abrió mi mente.

En general una de las áreas que me metí mucho, es como miniaturizamos la amplificación genética. Antiguamente, tenía que explicar que era un PCR a personas que no estaban acostumbradas, pero ahora, con el COVID, es más fácil. La pregunta es, cómo puedo yo hacer los pasos que hoy día se hacen en un PCR, en un laboratorio grande central, en una máquina del tamaño de un refrigerador, con un chip enano. Y aquí hay varios intentos de eso mismo, hay varios pasos que hoy día tienen que hacerse en forma manual, que al miniaturizarlo se puede hacer en forma automática y más rápido.

Cuando terminé mi doctorado en Irlanda, me fui a la Universidad de California Berkeley, y de alguna manera logré llevar estos proyectos más allá del doctorado, incluso tratar de llevarlos a desarrollar impactos en la sociedad, porque a mí me frustraba hacer muchos experimentos en los laboratorios, los publicábamos, todos se emocionaban y después y la sociedad no se beneficiaba de los descubrimientos y de la capacidad nueva que habíamos desarrollado. Eso me frustraba porque a mí lo que más me motivaba, era resolver problemas y que esas soluciones ayudaran a las personas, en vez de, quedar solo como una curiosidad interesante.

Cuando comencé mi trabajo en Berkeley, conseguimos el apoyo de la Autoridad de Defensa de Estados Unidos DARPA, para ver cómo podíamos llevar estas cosas teóricas y conceptos, hacia dispositivos reales que pudiéramos desplegar en el mundo y especialmente, en los ambientes de pocos recursos, que podrían beneficiarse enormemente al tener acceso a ese tipo de tecnología diagnóstica.

Al mismo tiempo, me salió la oportunidad de tener un trabajo en la Universidad de Stanford. Tenía doble contratación, trabajaba una parte del tiempo en Stanford y otra parte en Berkeley, estas dos universidades están como a

1 hora y media, una de la otra, entonces tenía que viajar un día para un lado, otro día para el otro y ahí también desarrollé proyectos de miniaturización y microfluídica, que finalmente me llevaron a la empresa actual Orca Bio.

Éste es el concepto que voy a explicar un poco más en detalle en las siguientes láminas; pero al principio quiero contarles qué pasó con esta idea de miniaturizar los pasos de un laboratorio de diagnóstico, y en especial la capacidad de poder hacer amplificación genética de forma miniaturizada y muy miniaturizada (Figura 4).

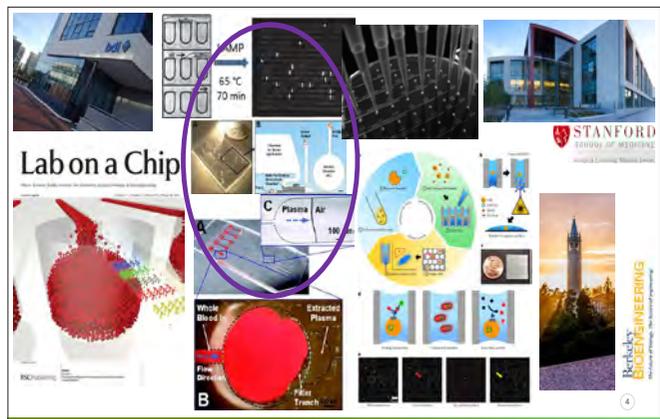


Figura 4

Después de varios años, logramos obtener el primer dispositivo práctico, y coincidió el tiempo con la manifestación de la pandemia COVID, de tal manera que cuando salió COVID, que llegó a Estados Unidos en marzo año 2020, nosotros ya estábamos trabajando en un dispositivo para el diagnóstico de la gripe de la influenza, y cuando salió el COVID, fue un trabajo bien eficiente, cambiar un poco la química dentro del Chip, para que en vez de detectar los genes de la influenza, pudiera detectar los genes del COVID.

Si ustedes se acuerdan los genes del COVID salieron muy rápido, porque se secuenciaron muy rápido, en cuestión de semanas fue identificado el COVID, y ya en internet uno podría bajar el genoma del COVID, y podías ver cuáles son los genes para identificarlo. Por lo tanto, nosotros armamos este dispositivo que adentro de esa cajita contiene unos chips parecidos a una cajita de jabón, es la miniaturización de un laboratorio central de PCR con varios técnicos y con varias máquinas que se necesitan para hacer un PCR; todo eso lo logramos condensar en esa cajita que cabe en la palma

de la mano de una persona, y que se hace con elementos tan baratos que puede ser desechable. Todo eso lo pudimos meter en una caja y distribuirlo donde era necesario. Esta cajita no necesita ninguna máquina externa, ninguna infraestructura, tiene sus dos pilas doble AA y con eso funciona, incluso en ambientes sin electricidad o con poco acceso a la electricidad.

Es algo que me orgullece, porque esta tecnología es súper robusta y fue muy rápida para poder incorporar la capacidad de diagnosticar el COVID o cualquier otro virus.

En noviembre del año 2020, fue el primer test que podías hacer en tu casa solo, aprobado por la DFA para COVID y que da la respuesta en 20 minutos. Es parecido a un test de embarazo, te sacas con un hisopo la muestra de la nariz, luego lo pones en ese tubito; el hisopo lo giras 15 veces, ni siquiera tiene un botón. El chip detecta cuando se inserta la muestra en este dispositivo y parte el testeo de PCR y en 20 minutos se prende una luz que dice positivo o negativo, es muy sencillo, cualquiera lo puede hacer y la respuesta es inmediata.

Lo interesante es que dentro de esta máquina hay un chip que tiene ocho cámaras, de manera que de forma paralela puede hacer 8 PCR diferentes, en el fondo este chip ya puede detectar o este dispositivo ya puede detectar, 8 enfermedades diferentes. Al principio solo le pusimos la capacidad de detección de COVID, pero un par de años después le agregamos también la capacidad de detectar COVID, Influenza A, o Influenza B, y con los años, la idea fue desarrollar o hacer muchos diagnósticos paralelos, de tal manera que, si tú no sabes lo que tienes, el dispositivo pueda escanear decenas y decenas de opciones y concluir exactamente el problema y ayudar a los médicos a dirigir el tratamiento correcto (Figura 5).

Para que sepan un poco como fue el camino, éramos tres los fundadores, y con el tiempo empezamos a contratar a más personas. Logramos conseguir el interés de algunos inversionistas. Partimos bien chicos hasta que al final cuando ya estábamos en el tratamiento de COVID, había un montón de interés, la empresa salió al mercado, empezó a vender acciones en el NASDAQ, aquí en Nueva York, y con eso también pudimos tener los recursos para escalar un montón la producción. Hicimos un acuerdo con esta empresa JABIL, y por la necesidad que había por el COVID y la manufactura de nuestros dispositivos, instalamos esta

fábrica en República Dominicana. Una de las personas que está aquí en la imagen del centro, es el presidente de República Dominicana, que abrió la fábrica y con eso pudieron fabricar millones y millones de estos dispositivos.



Figura 5

En los últimos años, creo que este dispositivo fue aprobado en 15 países en el mundo, en Europa, Canadá, Nueva Zelanda, en Taiwán, entre otros. Hemos distribuido millones y millones de estos dispositivos, incluso una de las partes más interesantes, no sé si ustedes se acuerdan que en el año 2021, hubo una isla en el medio del pacífico que se llama Tonga, en que hubo una explosión de un volcán, y esa isla como es tan remota se había aislado del resto del mundo y no tenían COVID, pero cuando se produjo la explosión del volcán, esas personas requerían mucho apoyo y tenía que venir gente externa a apoyarlos, pero la gente externa iba a traer el COVID, y la isla no tiene muchos recursos, no tienen una capacidad de laboratorio de diagnósticos y no tenían como saber si las personas que venían ayudar, realmente traían el COVID o no y con los test rápidos de esos de anticuerpos la precisión no es tan buena y debían usar un PCR que es más preciso para resguardar la población de la isla, y nosotros en la empresa Lucira enviamos un montón de dispositivos, incluso donamos un montón a la isla.

Aquí se ve una señora de la isla, se ve la capacidad central de diagnóstico de la isla del Ministerio Local de ese mini país, están haciendo muchos test, y chequeando a muchas personas en forma paralela, sin necesidad de un gran laboratorio, sin necesidad de grandes inversiones y esto escala en la medida que lo necesitas, si necesitas chequear a una

persona tienes un chip, si quieres chequear mil personas pones mil chips en paralelo, eso fue una gran ayuda para esas personas. Finalmente, esta empresa fue comprada por Pfizer, y ahora ya es parte de ella y supongo que lo van a conectar con todas las drogas de COVID, y de influenza que tiene Pfizer, ojalá que siga ayudando a muchas personas en el futuro.

Me siento súper feliz y de haber tenido la oportunidad de crear algo tan bonito, y que coincidió en que pudimos ayudar a tantas personas (Figura 6).



Figura 6

Otro trabajo que estoy haciendo en la Universidad de Stanford, tiene que ver con varios proyectos, y uno de los proyectos más interesantes es este de aquí. La idea fundamental es tomar un pedazo de vidrio y perforarlo con muchos hoyos. Al vidrio le gusta el agua y los líquidos hidrofílicos y cuando tú le pones una muestra que tiene harta agua que, el vidrio como que lo succiona, chupan el líquido y de forma muy rápida generan una distribución de muchos compartimientos separados de cámaras de líquidos, que son volúmenes muy pequeños.

Imagínense que esos hoyos tienen un diámetro del orden de 20 micrones, en el fondo del orden de un quinto del diámetro de un pelo; es un poquito más grande que una célula y de esa manera si tengo una sopa de muchas células diferentes y esa sopa hago que toque este pedazo de vidrio, el vidrio lo succiona como fuera una esponja y me reparte todas las células en distintas cámaras pequeñas, de manera tal que más o menos entra una célula o ninguna, en cada una de estas recámaras.

De forma muy rápida pude distribuir y llenar decenas de miles de tubos de ensayos con sus células y pude hacer los ensayos casi de forma instantánea, no requerí ningún robot, ni mucha gente moviendo líquido de un lugar a otro. Entonces, encontré que esa plataforma para poder distribuir estos líquidos en millones de compartimientos podría ser algo muy poderoso, ese fue como el primer descubrimiento que es interesante, para usar esas cualidades de características microscópicas.

Una vez que se llena esta cámara con líquidos, se genera un menisco abajo y un menisco arriba, la gran pregunta es, ¿puedo hacer cierta reacción, ciertos procesos adentro de esta cámara, pero al final me gustaría extraer el contenido de él, ¿cómo lo puedo hacer?, ¿cómo puedo sacar este contenido? Obviamente que, trabajando en esa escala tan chiquitita, no puedo usar el dedo, un palito o algo así para sacar el contenido, tengo que descubrir otra forma y con suerte encontramos que podemos usar láseres, especialmente en cierta longitud, donde al inyectar la energía óptica del láser en este menisco, se rompe el menisco y permite en el fondo extraer el contenido de esta recámara y dejarlo caer por decirlo así en un recipiente que esté debajo. Y de esa manera nos dimos cuenta de que podemos rápidamente cargar un montón de recámaras, distribuir cualquier muestra que estén dentro de las recámaras y con un láser podemos sacarlas.

Para poder determinar lo que hay dentro de estas recámaras y ver cuáles son las cámaras de interés, con el ánimo de sacarlas, vamos a usar microscopios así, clásicos, fluorescentes, que se ocupan en general en biología. Esa parte no fue tan difícil, pero básicamente encontramos una manera bien diferente, ocupando elementos biofísicos bien novedosos, para poder hacer procesamientos celulares muy rápidos y de gran escala, de gran cantidad de números, porque en un dispositivo así como un pedacito de vidrio con muchas perforaciones de alta intensidad —aquí tiene una moneda de un centavo que es bien pequeña— básicamente puedes llenarlo con 4 millones de recámaras y, obviamente, lo puedo hacer un poco más grande, entonces, con este formato puedo procesar muchas células muy rápido.

En una publicación que hicimos demostramos que podemos hacer muchas actividades diferentes en un laboratorio en escala grande, pero de forma miniaturizada, y una de las operaciones más sencillas que podemos hacer es ordenar células. En el fondo, si yo tengo células que son de muchos tipos diferentes, si tengo 1 millón de células y quiero

identificar y extraer 100 de ese millón, que son células de interés, podría usar este dispositivo, porque lo que habría tomar es esa sopa heterogénea de células, la distribuyo en estos millones de recámaras, de tal manera que hay una célula por recámara, aquí abajo en la foto se ve las células que están en blanco fluorescentes y se ve un poco más oscura la recámara alrededor de la célula, y si yo quisiera de repente sacar una célula sin extraer las otras que están alrededor, con el microscopio identifico donde está la que yo quiero, cual tiene la fluorescencia correcta y después con el láser apunto a esa recámara y con eso extraigo la muestra.

Lo bonito de esto es que este ordenamiento o recuperación de células de interés, se puede hacer muy rápido, porque cargarlas de una sola vez es casi instantáneo, luego puedo escanear ópticamente para ver dónde están las que yo quiero y con un láser puedo rastrear y llegar directamente al lugar que necesito extraer y el tiempo que me demoro en inyectar la energía óptica y recuperarla la célula, resulta que ocurre en 30 segundos. Por lo tanto, todo puede ocurrir casi con la rapidez con que yo puedo rastrear con un láser a través del vidrio, e identificar la célula y extraerla, eso me permite ordenar células o buscar células de interés, con una velocidad 100 a 1.000 veces más rápido que la mejor herramienta para ordenar células que existen hoy día.

Ahora, porque eso es relevante, porque resulta que eso me permite armar mezclas celulares muy precisas, donde sé exactamente cada célula que va a la mezcla y se lo que hace la célula, y se su biología, puedo en el fondo determinar, cuál es la función que yo quiero crear cuando hago una mezcla de diferentes células, determinando exactamente la receta de cuantas células de cada tipo, que porcentaje y con qué pureza (Figura 7).

Esto es importante. Cuando estaba en la Universidad de Stanford, me di cuenta de que hay una nueva área de la medicina que se estaba abriendo, que se llama la medicina de terapia celular y el mejor ejemplo de ella es el trasplante de médula ósea; porque lo que hago, es que tomo células inmunológicas de un donante sano y esa mezcla de diferentes células inmunológicas, se las entregó a un paciente que tiene un cáncer como leucemia que es terminal y sabemos ya, porque eso se da de forma empírica desarrollado desde hace 50 años y que cuando hago esa transferencia de células de una persona a otra, estas nuevas células inmunológicas del donante te ayudan a encontrar el cáncer, destruirlo e incluso te ayudan a reconstruir un nuevo sistema sanguíneo.

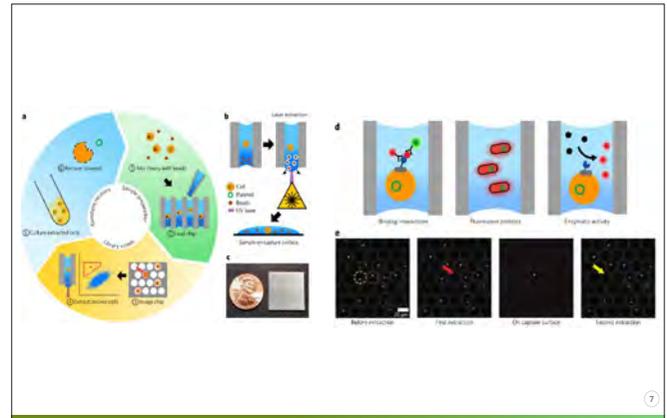


Figura 7

El gran problema con el trasplante de médula, ósea con esa transferencia, es que si tú sigues los pacientes que recibieron un trasplante de médula ósea, en tres años, casi la mitad de ellos se van a morir y si miras porque se mueren estas personas, la mitad de ellos se mueren porque el cáncer les volvió y lo hizo más agresivo, y la otra mitad de las personas se mueren porque cuando tu insertas las células de ese donante sano a una persona aun cuando sea lo más parecida posible desde el punto de vista tecnológico, estas células igual tienen una posibilidad de rechazo. Y en el fondo, el sistema inmunológico te rechaza como recipiente, es como si montara una reacción auto inmune muy fuerte, te empieza a destruir los órganos por dentro y en el fondo te mata. Si lo piensas, en el fondo el mismo remedio tiene su toxicidad y la toxicidad del remedio de esa mezcla celular la mitad de las veces es más tóxica que el mismo cáncer y te mata el remedio.

En los últimos 30, 40 años desde que estamos haciendo trasplantes de médula ósea, lamentablemente nadie ha podido resolver ese problema de cómo minimizar la mortalidad del trasplante clásico, y siempre hay un balance que, en el fondo, si yo quiero reducir la cantidad de toxicidad puedo tener un tratamiento más suave con menos dosis por decirlo así, el problema que vuelve más cáncer y más gente se muere del cáncer.

Si quiero ir con más fuerza a destruir el cáncer puedo darle más potencia al remedio, y normalmente se muere menos gente de cáncer, pero se llega a tener más toxicidad, entonces se mueren más personas de toxicidad. Por lo tanto, moviéndose de un lado a otro lado, no te permite realmente romper la barrera de reducir la cantidad de gente que se muere.

Y nuestra idea fue, si nosotros entendemos la biología y lo que hacen las distintas células que sacamos del donante sano y podemos identificar qué células van a destruir el cáncer, y qué células te van a ayudar a recuperar el sistema inmunológico e identificamos las otras células que pueden provocar rechazo inmunológico y que puedan generar todas esas toxicidades, sería muy bueno poder ordenarlas, sortearlas, extraer las células buenas, dejar al lado todas las células malas del donante y así insertar un remedio mucho más preciso y efectivo, sería mucho más sano del punto de vista de efectos secundarios y de la toxicidad (Figura 8).

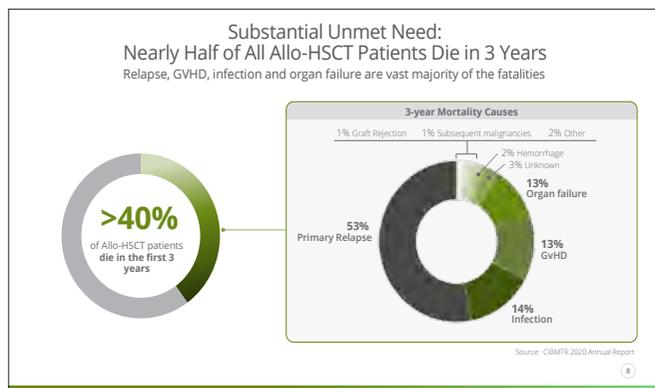


Figura 8

La combinación de este problema, con el descubrimiento de esta idea de poder usar microporos o microcapilaridades de vidrios para ordenar células muy rápidamente con láseres que escanean, se juntaron y nos “ayudaron” a crear la empresa Orca Bio.

Y eso es lo que hicimos y hoy día tenemos este proceso, donde sacamos del orden de 100 billones de células de un donante sano, que en el fondo es un producto de la aféresis. Es casi una donación de sangre, pero son donaciones de células blancas de la sangre, las células rojas las metemos de vuelta al donante, entonces tenemos un donante sano que se sienta en una máquina parecida a la que existe para la donación de sangre, se queda ahí un par de horas, en una bolsa se le extraen las células blancas, del orden de 100 billones de células blancas o sanguíneas en general, esa la transportamos a una fábrica donde ocupamos estas nuevas tecnologías que hemos desarrollado; extraemos las células correctas, las recombinamos de una forma diferente, que nosotros pensamos como si fuera un nuevo sistema inmunológico, con una nueva configuración y distribución de

células inmunológicas y esas las metemos de nuevo en una bolsa, y la enviamos al paciente de cáncer que está en un hospital y se le inyecta a la vena al paciente.

La idea que este nuevo sistema inmunológico, esté diseñado por la mezcla y el tipo de células que se le ponen para destruir el cáncer del paciente.

Al mismo tiempo tenemos células madre que reconstruyen todo un sistema inmunológico y sanguíneo nuevo con el paciente y esta mezcla, estructuralmente no tiene la capacidad de rechazar al paciente o la tiene muy minimizada, comparado con todas estas células que recibieron del donante sano.

Esa es la plataforma central, la tecnología central de Orca Bio (Figura 9).

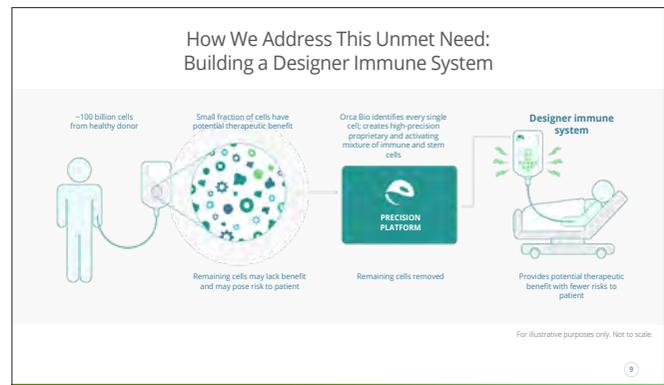


Figura 9

Con esa tecnología hemos seguido desarrollando, más y más mezclas inmunológicas, nuevos remedios inmunológicos, que optimizamos cada vez más para tener mayores efectos sobre los pacientes.

La primera generación de mezclas o remedios de productos que tenemos se llama Orca T, y Orca T está indicado en varios casos clínicos.

Para los semi cáncer de sangre más comunes como AML, ALL, MDS, son para pacientes que tienen donantes que pueden ser pareados inmunológicamente con el paciente. Hemos tratado más de 250 pacientes con este enfoque y de hecho el resultado ha sido muy bueno y la FDA nos ha permitido entrar en un ensayo clínico fase 3, que es, en el fondo, la

última fase de ensayo clínico con el cual ya podemos recibir la aprobación y empezar a distribuir de forma comercial y masiva a todos los pacientes que pueden tener la necesidad.

También estamos desarrollando a la siguiente generación de mezcla inmunológica que es Orca Q, ahí tenemos del orden de 80 pacientes que tratamos, estamos aún en fase 1B en ensayo.

Y estamos desarrollando cada vez mejores soluciones con esta plataforma tecnológica, aprendiendo de todos los errores y las cosas que no resultan tan bien con el Orca T/Q/X, y generando nuevas optimizaciones que obviamente están en fases un poco anteriores (Figura 10).

Orca Bio Therapeutic Portfolio
Expected therapeutic development programs & stage of development

Candidate	Indication	# of Patients Treated To Date	IND enabling	Ph 1/2	Ph 3	Structure
Orca-T (gen 0)	AML, ALL, MDS Matched Donors	>250 Orca-T patients	Phase III			wholly-owned
Orca-T (gen 0)	MF, MPAL, Elderly Pts, Peds Matched Donors		Phase Ib/II			wholly-owned
Orca-Q (gen 0)	AML, ALL, MDS Haplo / Non-Matched Donors	>85 Orca-Q patients	Phase Ib			wholly-owned
Orca-T/Q/X	Multi-modal comb (CAR T etc.)		Phase Ia			wholly-owned
Orca-Q/M	Autoimmune and heme non-malignant		IND enabling			wholly-owned

Figura 10

Para que sepan el nivel de impacto que estamos viendo, aquí tenemos datos para que comparen con el trasplante de médula ósea convencional, hay varias formas de medir, que también funcionan en los remedios.

La primera forma es la supervivencia ideal (Ideal Survivor), en el fondo esto es lo que trato de medir, qué porcentaje de los pacientes tratados después de 1 año de tratamiento sobreviven libre de cáncer, que en el fondo es a quienes el primer año no les volvió el cáncer y también libre del rechazo inmunológico. El rechazo inmunológico lo llaman GVHD, GRFS y Relapse-Free, en el fondo cuántos de ellos sobreviven sin que les vuelva el cáncer, podemos ver con un trasplante normal solo el 20 % de las personas después de ser tratados con un trasplante de médula ósea y tienen obviamente un cáncer bien agresivo de leucemia, pueden sobrevivir un año sin que les vuelva el cáncer o sin que tengan un rechazo inmunológico.

En el caso de los pacientes GVHD eso lo hemos mejorado 4 veces del orden del 80 % de los pacientes sobreviven de forma ideal después del tratamiento.

Supervivencia Total (Overall Survival) en el fondo, cuantas personas están vivas después de un año con Orca T, cuantas personas están vivas por cualquier razón después de un trasplante de médula, ósea, también estamos viendo una gran mejoría ahí (Figura 11).

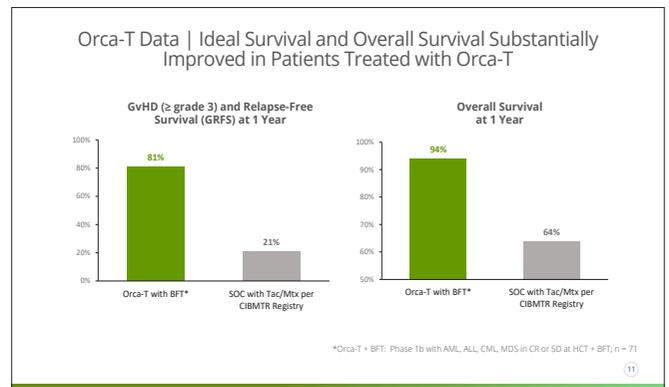


Figura 11

También es súper interesante ver que con este remedio somos capaces de reducir la capacidad de que vuelva el cáncer y al mismo tiempo reducir la toxicidad. En el fondo, ese trade off que había, que era un problema clásico, lo hemos podido quebrar. Somos capaces de destruir cáncer y reducir la toxicidad al mismo tiempo, eso es lo que muestran estos dos gráficos (Figura 12).

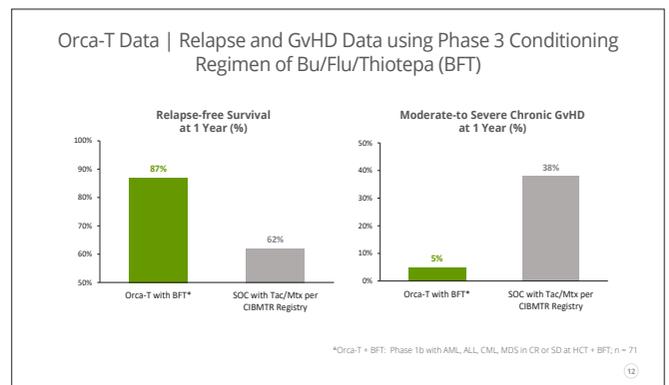


Figura 12

Eso ha hecho que los grandes hospitales que hacen trasplantes de médula ósea en Estados Unidos, estén muy interesados y todos quisieran participar en nuestros ensayos clínicos. Aquí tenemos algunos de ellos y esos hospitales representan casi el 40 % de todos los pacientes tratados en Estados Unidos con trasplantes de médula ósea, para curar o tratar leucemias terminales.

Entonces estamos muy felices de que ellos reconozcan este tremendo avance y se ve que eso va a cambiar el estado del arte y que la norma de cómo se tratan esos pacientes después de que tenemos nuestros ensayos clínicos demostramos que todo funciona bien y debería ocurrir ese cambio, esa revolución y que tenemos los hospitales más grandes que llevan la opinión favorable y que son como los líderes de opinión en esta área. Ellos después lo incorporarán como su nuevo estándar y con eso lo llevarán al resto del mundo con ellos (Figura 13).

Orca-T Clinical Trial Sites
Shortlist of active and expected participating centers (comprise ~37% of the Allo BMT market, US)

Clinical Center	% of allogeneic transplants (US)	Clinical Center	% of allogeneic transplants (US)
City of Hope	4.5%	University of Michigan	1.2%
Mass Gen / Dana Farber	4.5%	University of Miami	1.1%
MD Anderson	3.8%	UCLA	1.0%
Mayo Clinic (combined)	3.3%	Weill Cornell	1.0%
Stanford	2.4%	Utah Blood and Marrow Transplant	1.0%
Memorial Sloan Kettering	2.2%	Emory	1.0%
Moffitt Cancer Center	2.2%	Sarah Cannon Nashville	0.7%
Oregon Health & Science	1.5%	University of Chicago	0.7%
Texas Transplant Institute	1.5%	UCSD	0.6%
Vanderbilt	1.2%	UC Davis	0.5%
Cleveland Clinic	1.2%	Total	37.1%

Figura 13

Eso nos ha hecho ver la necesidad de tener mucha capacidad de manufactura, de hecho, durante el COVID fue interesante, porque nuestro ensayo clínico o nuestro producto Orca T permite de que los pacientes se vayan del hospital más rápido y no tengan que usar la UCI, y eso fue algo muy crítico durante el COVID porque, si se acuerdan, los hospitales estaban sobrecargados, las UCI también eran un recurso muy escaso. Y lo que pasó en el caso de nuestros pacientes, es que vimos una tremenda explosión de demanda de OrcaT y muchos doctores querían darles pastillas a sus pacientes, lo que obviamente significaba mucha manufactura, y teníamos que hacer mucho ordenamiento celular y no dábamos abasto. Era un problema ético para nosotros porque sabíamos de que las personas que necesitan

el tratamiento están a 2 o 3 meses de morir, entonces decirles que no podemos, que no tenemos capacidad, en el fondo es como negarse a darle una oportunidad de vida a una persona que está en una situación crítica.

Entonces quisimos realmente invertir en eso, y tratar de que no nos ocurra nunca más que no tengamos la capacidad de manufactura. Para la preparación comercial decidimos armar una fábrica enorme para poder hacer esto sin restricciones y había un terreno que estaba cerca del aeropuerto internacional de Sacramento, que es la capital de California, donde había un nuevo parque de desarrollo, en el que se podían construir fábricas, muy cerca del aeropuerto, porque muchos de nuestros productos, para llegar a nuestros pacientes, viajan a través de aviones. Entonces necesitamos acceso al aeropuerto y partimos construyendo en mayo de 2021 (Figura 14).



Figura 14

Y ahora, a fines del año pasado, en diciembre armamos nuestra fabrica, y esta es la fábrica más avanzada de construcción de terapia celular de alta precisión en cualquier parte del mundo.

Estamos muy orgullosos de poder haber hecho eso, esta fábrica aun cuando no suena mucho puede producir como 3.000 productos al año, 3.000 de estas bolsas que se le pueden entregar a los pacientes al año, lo cual representa del orden del 30 % de todos los pacientes que reciben trasplantes de médula ósea en Estados Unidos hoy día, obviamente que esto no es suficiente, vamos a tener que armar fábricas adicionales en otras partes del país y obviamente que cuando eso se apruebe, nos gustaría llevarlo a Latinoamérica, Europa

y a todo el resto del mundo, donde también hay gente que sufre este tipo de cáncer (Figura 15).



Figura 15

Lo otro que también fue muy impresionante y grato, es darse cuenta cuanto puede ahorrar esta solución, en dinero al sistema de salud. Aquí en Estados Unidos, es increíble cuánto dinero gastan en salud. Hoy día, por ejemplo, un trasplante de médula ósea tradicional, por paciente, le cuesta al sistema de salud del orden de 1.2 millones de dólares. Abajo, en verde se ve el costo inicial y luego el resto que son los costos de las complicaciones que ocurren porque no se hizo bien el tratamiento, porque hay un montón de toxicidades y los pacientes tienen que volver al hospital y en algunos casos volver a la UCI. Se generan enfermedades secundarias y todo eso genera más y más costos al sistema de salud y si tu agregas todo eso a través de la vida del paciente después de ser tratados, se generan sumas enormes. Y si nosotros somos capaces de mejorar la sobrevivencia libre de cáncer y libre de rechazo de 20 % a 40 %, duplicarlo solamente, eso le ahorraría al sistema norteamericano del orden de ½ millón a 700 mil dólares por paciente, entonces no solo salvamos vida, sino que también traemos muchos valores económicos al sistema médico y eso también fue inesperado, yo no sabía que podría tener un impacto tan grande (Figura 16).

Para terminar, para poder dar la idea para donde vamos hacia futuro. Si uno piensa lo que hemos hecho hasta ahora, del orden de 300 pacientes, hemos tomado un sistema sanguíneo inmunológico sano y se lo hemos insertado a un paciente que tiene un defecto, una enfermedad en su sistema sanguíneo o sistema inmunológico. En el caso de

la mayoría de nuestros pacientes el defecto es un cáncer sanguíneo, y lo que hemos hecho es que hemos borrado el sistema sanguíneo inmunológico defectuoso con la enfermedad y lo hemos sacado, lo hemos extirpado y en su lugar hemos puesto nuevo sistema sano.

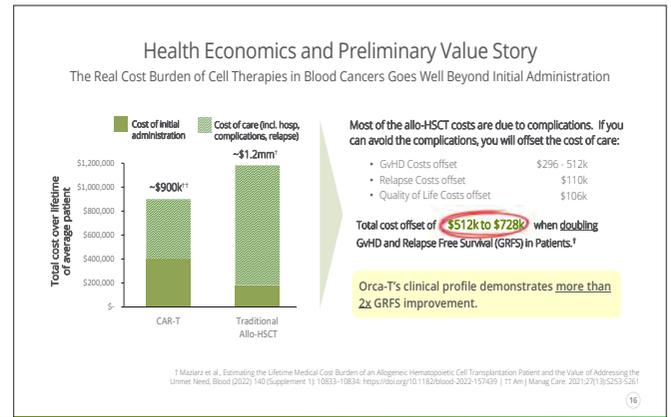


Figura 16

Eso no es solo útil para los pacientes que estamos viendo ahora para el ensayo en fase 3, sino que, si esto lo hago más rápido, resulta que, hay 100 a 150 enfermedades adicionales, como enfermedades auto inmunes como: esclerosis múltiple, lupus, artritis reumatoide y escleroderma, entre otras, que son enfermedades por las que muchos pacientes en el mundo sufren y el origen de ese problema es el sistema inmunológico. En el fondo el sistema inmunológico de esos pacientes es defectuoso y destruye sus propios cuerpos y eso genera, por ejemplo, si destruye las neuronas, trae esclerosis múltiples, si destruye otras partes del cuerpo trae otras enfermedades autoinmunes, pero si nosotros de forma muy segura podemos borrar ese sistema inmunológico defectuoso y reemplazarlo con otro que es sano, podríamos sanar esos pacientes y realmente curar esas enfermedades.

Ha habido casos con trasplantes de médula ósea, anecdóticos donde ya se ha demostrado eso. Por ejemplo, hay pacientes que han tenido esclerosis múltiples y también han tenido leucemia y para la leucemia le dieron un trasplante de médula ósea, y así de forma inesperada se dieron cuenta que desapareció la esclerosis múltiple, pero el problema es que si yo quisiera tratar los pacientes con esclerosis múltiple, con un trasplante de médula ósea convencional, el trasplante de médula ósea convencional trae muchas toxicidad mortal y del orden del 10 al 20 % de esos pacientes se van a morir

por el trasplante solamente. Y si tú tienes esclerosis múltiple y no te vas a morir por esa enfermedad, no se justifica usar algo tan tóxico como un trasplante normal de médula ósea, y por eso la gente no usa ese método, pero si tenemos una forma diferente, un trato diferente como Orca T que reduce esa toxicidad enormemente, ahora ya podemos abrir el acceso a los médicos a tratar muchas más enfermedades que sabemos su origen, en que hay un problema con el sistema inmune o sistema sanguíneo.

Por lo tanto, creemos que estamos partiendo con el cáncer, pero podemos ayudarles a 30 veces a más personas que solo a esas personas que tuvieron cáncer y esa es un poco la misión y visión que tenemos en Orca Bio, partir con cáncer con los pacientes que tienen mayor necesidad, demostrar que esto es seguro y bueno, entregar esa herramienta a los médicos, a la medicina en general, para poder usarse en todos los casos donde valga la pena y resolver problemas en que hoy día no tenemos ninguna solución (Figura 17).

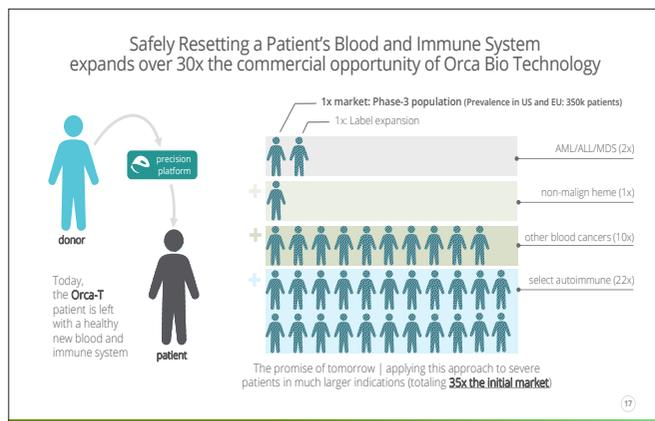


Figura 17

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

Sr. Gabriel Dartuwig

—¿Este método hace alguna diferencia entre pacientes Pediátricos y Adultos?

Sr. Ivan Dimov

—No, no la hace, pero en general obviamente que las dosis que le damos a las células están proporcionales al peso del paciente; un paciente pediátrico tiene mucho menos peso y por lo tanto le damos una dosis menor, en ese sentido se hace la diferencia. Pero los mecanismos biológicos que usa para funcionar bien en los pacientes son iguales, a través de la población, sin embargo, históricamente se sabe que el perfil de toxicidad de los remedios, a veces cambia entre los adultos y los niños, por lo tanto tenemos que hacer ensayos clínicos pediátricos aparte, para asegurarnos de que no estamos introduciendo alguna toxicidad adicional a los niños y esa parte es lo que aún nos falta por hacer, y esos son los ensayos que vamos a hacer a partir en los próximos años. Hoy día el ensayo que estamos haciendo es para adultos entre 18 y 65 años de edad, pero eso lo vamos a ir ahora expandiendo a niños y también a gente mayor de 65 también.

Sr. Alejandro Steiner

—¿Entiendo que la tecnología de selección de células en los poros del vidrio, están tomadas de impresora láser, entonces es interesante conocer algún detalle del traspaso de tecnologías de un dominio a otro tan diferentes?

Sr. Ivan Dimov

—Si, muy buena pregunta, excelente pregunta. Creo que fue una de las grandes ventajas que tuvimos y fue todo suerte para realmente decir la verdad.

Creo que, si nosotros hubiéramos partido con esta empresa unos 5 a 10 años antes, probablemente el camino habría sido mucho más difícil, mucho más caro y la posibilidad de no lograr llegar a la meta habría sido mucho mayor, porque como mencionaron, nosotros pudimos ocupar varios módulos y tecnologías que fueron desarrollada para otros usos, para usos de consumidores masivos como las impresoras láseres, para poder escanear más rápidamente a través de una página etc.

Obviamente que nosotros requeríamos mayor precisión que un escáner de una impresora convencional y resulta que justo cuando partimos con la empresa había dos empresas, una

en Estados Unidos en Arizona y otra en Europa, creo que en Holanda o Bélgica. que habían tomado esa tecnología de la impresora láser y la habían hecho con mayor precisión y mayor velocidad, eso nos permitió usar los laser más poderosos que también se necesitan para hacer este efecto y justo cuando nosotros partimos con la empresa como unos 6 meses después, esos módulos de procesamiento estuvieron disponibles en el mercado, en el fondo podríamos ir donde ellos y comprarles uno de esos escáneres.

Fue increíble porque yo conocí a los fundadores de esta empresa y los que habían inventado este módulo más avanzado y en eso demoraron como 7 u 8 años y gastaron del orden de 40 a 50 millones de dólares para poder optimizar y hacer robustos y precisos estos módulos; ya estaba todo condensado en una cajita que yo podía comprar como por 20 mil dólares no era barato, pero por lo menos no tenía que gastar 7 u 8 años y 40 millones de dólares desarrollándolo yo mismo.

Lo mismo pasó con esta cosa de poder ver cuáles son los poros que tienen las células que queremos extraer, en el fondo sacamos una foto de una señal fluorescente y para sacar esa foto necesitamos una cámara como cualquier otra foto, y resulta que justo cuando estábamos armando la máquina, salieron unas nuevas cámaras que fueron desarrolladas para los telescopios que tienen unos chips enormes y pueden sacar fotos con montón de píxeles y de un área enorme, de nuevo desarrolladas para poder sacar fotos del cielo y poder estudiar las estrellas y como es mucha superficie que cubrir, ellos trataron de aumentar lo más que pudieran los sensores. De nuevo de ahí tomamos esta cámara y la usamos en nuestro desarrollo y así hay varias situaciones de las cuales hoy día, dado que tenemos todos los avances del resto de la tecnología, podemos aprovechar e integrar en nuestro trabajo si no hubiéramos estado tan avanzados como el resto del mundo, no hubiéramos podido tener el rendimiento necesario para poder usarlo en los casos de los pacientes.

Entonces es increíble como todo se junta y como tiene que estar en el momento correcto de la historia también, la verdad que es pura suerte y a veces resulta la suerte como se alinearon las estrellas en nuestro caso, a veces no y está bien, uno tiene que saber que a veces hay factores que tu no controlas, pero lo importante aquí es intentar dar lo que mejor puedes y si no resulta no importa, anda a la siguiente cosa, pero no tiene que darte miedo de intentarlo y nosotros

bueno intentamos, no sabíamos si iba a resultar y tuvimos suerte y resultó.

Sr. Ricardo Nicolau del Roure

—*Bueno con lo que tu acabas de explicar en realidad existe este traspaso de tecnología de un dominio de la ciencia a otro, a veces el momento es oportuno y otras veces hay que esperar o no es tan sincrónico.*

Sr. Ivan Dimov

—Sí muchas gracias, lo agradezco un montón y la verdad es que aún no puedo creer lo que hemos podido lograr. Cuando partí en este viaje con la Santa María, lo hice solamente por interés personal, porque tenía la atracción técnica por decirlo de alguna manera y no tenía idea que podía sustentar mi vida, de que podía tener un sueldo por lo que estoy haciendo y menos de que iba a tener tanto impacto bueno y tan rápido, en realidad que ha sido todo sorprendente, pero muy grato y siento con mucha humildad la suerte que tuve.

Sr. Mario Rivera

—*¿Esto es una plataforma, es un equipo, que es en realidad?, ¿se puede utilizar en un laboratorio clínico molecular, se puede utilizar en instalaciones tipo salas blancas?*

Sr. Ivan Dimov

—Si es una máquina, es una maquina industrial, es una caja industrial del tamaño de 2 refrigeradores, tú vas con una bolsa con las células, la misma bolsa de donde viene el donante la cuelgas en la máquina, la conectas en la máquina y la maquina empieza a procesar y salen al otro lado las células en una bolsa. Obviamente hay operarios y tiene su experto técnico que se necesita para operarla.

Obviamente que podemos construir máquinas para usos más académicos, que sean menos voluminosos, menos caras y que no sean de uso industrial, para investigación y desarrollo, en un hospital si se pudieran usar habría que adecuarlas porque igual eso está hecho en un ambiente

industrial de fabricación. Entonces, en un hospital se podría, pero lo veo difícil, más que nada porque un hospital no está diseñado para ser una fábrica, generalmente las cosas que se tienen que controlar en cuanto a que deben ser hechas de muy buena calidad y en el fondo que siempre se haga bien, igual todas las veces, pero, nuevamente, un ambiente más industrial es mejor para eso que un hospital. Pero hay hospitales aquí en Estados Unidos que son hospitales más académicos, de investigación y que quieren investigar nuevos conceptos y en esos casos yo creo que, sí se puede usar para investigaciones con el tipo de máquinas que tenemos nosotros, pero tiene que adecuarse un poco para que sea más fácil de usar para gente más académica.

Y si es una plataforma que se puede usar de cualquier tipo de célula, entonces puede ser para distintas células, distintas enfermedades, en la empresa tenemos 2 plataformas:

- Plataforma de la máquina de la manufactura
- Plataforma científica, que es en el fondo la receta de la célula, cuáles son los tiempos, los tips de las células T, cuáles son los marcadores de proteínas exactas y precisas que identifican la célula que van a hacer el trabajo correcto y cuál es la receta que tenemos que usar. En el fondo, también hemos diseñado la receta correcta y el ambiente para activar las células, para que hagan el trabajo que queremos hacer.

A diferencia de otras terapias celulares nosotros no modificamos el código genético de las células. Uno puede ir con un martillo y forzar a las células para cambiar el código genético para que haga algo, pero en algunos casos eso es bueno y efectivo, pero en general también conlleva riesgos, porque cuando empiezas a modificar genéticamente las cosas no sabes cuáles son las consecuencias en 10, 15 o 20 años, entonces para no tratar de meternos en ese tipo de problemas, decidimos usar las células naturales las que ya están en una persona y utilizar muy bien su biología; sabemos cómo activarla, como decirle lo que tiene que hacer, sin modificar su genética y sin modificar su estructura y lograr resultados parecidos, pero con mucho mayor seguridad que la modificación genética, y ese es el enfoque que tenemos que es bien diferente a muchas otras empresas que están haciendo terapia celular que requieren ingeniería genética.

Sra. Berta Cerda

—*Excelente presentación, interesante método de selección de células blancas, que ha logrado disminuir el porcentaje de GDHDE en pacientes trasplantados. El tratamiento de LLA y LMA en quimioterapia para despoblar la médula enferma y después reemplazar por las células sanas, ¿estos resultados son independiente del tipo de quimioterapia de inducción?*

Sr. Ivan Dimov

—No, lamentablemente nos dimos cuenta de que, en el tratamiento de Orca T, que es como en el fondo una médula diferente, una mezcla diferente que la convencional que uno usa, el resultado final del paciente, no es solo debido a la célula, sino que también debido al acondicionamiento, del paciente para recibir las células, también impacta mucho sobre cuál va a ser el comportamiento de esa célula y cuál, por lo tanto, va a ser el efecto total sobre el paciente. Nosotros aquí en la empresa ya pensamos que ese proceso es un paquete, tú no puedes modificar un elemento sin tener impacto sobre el otro, tienes que optimizar los dos. El acondicionamiento, las células y también después que le pones las células, probablemente tiene un régimen profético para controlar el GVHD que se constituye también en otro remedio inmunosupresores.

Entonces esos tres elementos, el acondicionamiento, las células y la profilaxis, tienen que optimizarse juntos, porque si no uno contradice al otro y se destruye el efecto, y eso es lo que hemos hecho aquí en la empresa, hemos optimizamos todo el efecto y de lo que nos hemos dado cuenta, es que cuando tu ocupas las células Orca T, muchas veces el acondicionamiento genera secuelas, genera daños, destrucción interna de la arquitectura del sistema linfático y de la médula de los pacientes, porque la médula es la fábrica central donde se genera toda la sangre, todo el sistema inmunológico y constantemente esa fábrica está generando más y más células, y manteniendo el juego celular que necesita para vivir y tener inmunidad. Si tú destruyes esa arquitectura generas impactos, y no solo haces daño ahí, sino que haces daños en otros órganos también, y cuando tu ocupas médula ósea normal, cuando haces acondicionamiento y generas esos daños y estas secuelas, lo que sucede muchas veces, es que generas que las células del trasplantes sean mucho más

reactivas, entran en un ambiente muy inflamado y empiezan a reaccionar mucho y generan mucho daño no específico que es el GVHD que termina matando a los pacientes en algunos casos. Pero si tu vienes con unas células que tienen una capacidad reguladora mucho más fuerte, ellas y eso es lo que hacemos con el Orca T, entran en ese ambiente que ya tiene secuelas del acondicionamiento. De hecho, lo que hemos visto es que ayudan a sanar mucho más rápido las secuelas, de tal forma de que no solo no amplifican ese problema inflamatorio, sino que los sana y lo apagan, y lo hacen muy eficiente y rápidamente, lo cual significa que, en el fondo, no se generan síntomas clínicos o se ven mucho menos síntomas clínicos de lo que te esperarías como paciente.

Por lo tanto, al usar Orca T se tiene mucha más holgura y reduces el daño del acondicionamiento del paciente, puedo usar muchos formatos de acondicionamiento, porque en el fondo ya no importa si ese formato genera más o menos secuelas y al mismo tiempo reduces cualquier daño

que puedan tener en el largo plazo esos tratamientos de acondicionamiento.

Y esa fue una sorpresa que nos ocurrió en esta investigación, que no esperábamos, pero al mismo tiempo nos dimos cuenta de que si tenemos más flexibilidad que equipos de acondicionamiento podíamos usar algún acondicionamiento que tuviera un efecto sinérgico junto con la célula Orca T, para destruir más cáncer. Entonces hemos optimizado el acondicionamiento, para no solo permitir que entre una célula Orca T, sino que le ayude a la célula Orca T, para destruir el cáncer y, además, hemos podido reducir la cantidad de inmunosupresión en el régimen profiláctico que normalmente se da en esos pacientes para que, en el fondo, no desacelere las células de Orca T, y dicho al revés, que aceleren, que hagan más su trabajo, porque una parte de su trabajo es destruir cáncer y de esa manera le hemos dado la capacidad de Orca T, de destruir cáncer de forma más efectiva y mejor que lo que uno estaría acostumbrado con un trasplante convencional.

Fin de la conferencia.

PUERTO EXTERIOR DE SAN ANTONIO

La mayor expansión portuaria en la historia de Chile

Conferencia de la Sra. Sally Bendersky, Presidenta Puerto San Antonio



Sra. Sally Bendersky.

El día martes 12 de septiembre de 2023 a las 11:00 horas —vía zoom—, se realizó ante una gran concurrencia del ámbito académico, público y privado, la conferencia de la Sra. Sally Bendersky, Presidenta de Puerto San Antonio, quién expuso el tema: “Puerto Exterior de San Antonio. La mayor expansión portuaria en la historia de Chile”.

Sally Bendersky Schachner, es Ingeniera Civil Químico de la Universidad de Chile, es Coach Certificado de The Newfiel Group y Analista de Sistemas Calificados IPCIISA.

Fue Presidenta del directorio Puerto Coquimbo, Presidenta del Comité Consultivo Open Beauchef de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, fundadora y directora de consultora de New Leadership; Jefa de la División Educación Superior del Ministerio de Educación de Chile.

La Sra. Bendersky ha sido Embajadora de Chile en Israel, Directora Ejecutiva del Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Jefa de Proyectos Informáticos en Banco O’Higgins y Banco Osorno de Chile (actualmente Banco Santander).

Actualmente, es la primera Presidenta del directorio de la Empresa Portuaria de San Antonio desde que fue creada en 1998, y fue designada por el sistema de empresas públicas, es, además, Presidenta de la Academia de Ingeniería de Chile.

Sra. Sally Bendersky

—Muy buenas tardes.

Para nosotros es muy importante que se conozca este proyecto, que es la mayor expansión portuaria en la historia de Chile; es un proyecto muy grande y complejo, entonces nos parece muy relevante que se dé a conocer.

Esto es lo que hoy día somos.

Puerto San Antonio, es una empresa que tiene 5 concesionarios: Policarpo Toro S.A. (fluidos), Panul (granos sólidos), DP World (multipropósito pero fundamentalmente contenedores), STI (fundamentalmente contenedores también) y Terquim, (que maneja y almacena graneles líquidos). Este es el ecosistema de Puerto San Antonio (Figura 1).



Figura 1

Es una empresa del Estado, creada por la ley 19.542, de modernización del sector portuario estatal, del 31 de enero de 1998. Somos un puerto del Estado y tenemos un doble rol. Por un lado, somos una empresa que genera ingresos para el Estado y por otra parte somos autoridad portuaria, velamos por que se cumplan las normas que tienen que regir la actividad portuaria. Nosotros no operamos, lo hacen los concesionarios.

Anualmente, por nuestros terminales se atiende sobre el 52 % del comercio exterior del país y San Antonio es el primer puerto a nivel nacional en transferencia de carga.

Como ven, es un puerto multipropósito que está dedicado a la transferencia de carga contenerizada, fraccionada, por ejemplo, autos, y granel como granos de cereales sólidos y químicos sólidos y líquidos (Figura 3).



Figura 3

¿Qué es Puerto San Antonio? (Figura 2).



Figura 2

¿Cuál es la relación entre la ciudad de San Antonio y nosotros?

En primer lugar, la ley 19.542 regula el patrimonio, los servicios portuarios, la organización, y la administración financiera del puerto. Ahora, como esta ley ya tiene sus años, lo que se miraba era del puerto hacia sí mismo, entonces en esa ley no es posible hacer inversiones o gastos fuera de los recintos portuarios, y eso es algo que, en esta etapa del desarrollo portuario, todos los puertos tienen la necesidad de llevar una relación armónica entre el puerto y la ciudad. Para eso existe el Consejo de coordinación Ciudad-Puerto, que ya lo vamos a ver, donde representantes de todos los grupos y las comunidades de las ciudades, cada puerto tiene su Consejo, van viendo de qué manera se puede ir integrando la ciudad con el puerto y el puerto con la ciudad.

El sistema de empresas públicas entrega directrices y esas directrices quieren generar valor en cuatro pilares: bienestar laboral, aporte al desarrollo local, protección del medio ambiente e innovación. Aquí se puede apreciar la necesidad de hacerse cargo de la antigüedad que tiene la ley, que es de 1998 y las necesidades de aportar al desarrollo local que hoy día debe considerarse.

En temas de coordinación, ya hablamos del Consejo de Coordinación Ciudad-Puerto, que está presidido por el Gobernador Regional, en este caso de la Quinta Región, que tiene su sede en Valparaíso, pero él también es nuestro Gobernador y funciona en base a distintos comités ciudadanos, organizacionales, de trabajadores, de desarrollo, etc. que son responsables de diseñar y ejecutar proyectos coordinados de interés colectivo en las distintas áreas.

También lideramos el Comité de Coordinación COP de autoridades locales, que tiene que ver con incidentes que pueda haber en la comunidad, ya sea desastres naturales, delitos y cualquier otro tipo de incidentes. En él participa la Dirección Marítima local, la policía, Aduana, SAG, la delegación presidencial y los concesionarios, de modo tal de hacernos cargo en conjunto de cualquier situación anómala que se esté produciendo.

La comunidad logística de San Antonio tiene por propósito difundir y coordinar las acciones que se hacen en conjunto con los sectores productivos locales a los que les interesa la labor del puerto.

Nos coordinamos también con la Marina para una coordinación de planificación naviera y en los proyectos mismos, generalmente tenemos que coordinarnos con el Ministerio de Obras Públicas, con el Ministerio de Vivienda, con la empresa de Ferrocarriles del Estado y con otras autoridades de instancias de desarrollo (Figura 4).

Ahora vamos a hablar sobre la necesidad de la infraestructura logística en la macrozona central. Ya vimos que EPSA es una empresa del Estado creada en 1998, que es el principal puerto del país y el *hinterland*, el área que abarca, es la macrozona central, junto con otras empresas de naturaleza similar. Si ustedes ven el mapa que está a la derecha en la Figura 5, se van a encontrar que por el Norte es donde termina Coquimbo y por el Sur es donde empieza Biobío, Ñuble. Todo lo que está entre medio constituye la macrozona central.



Figura 4

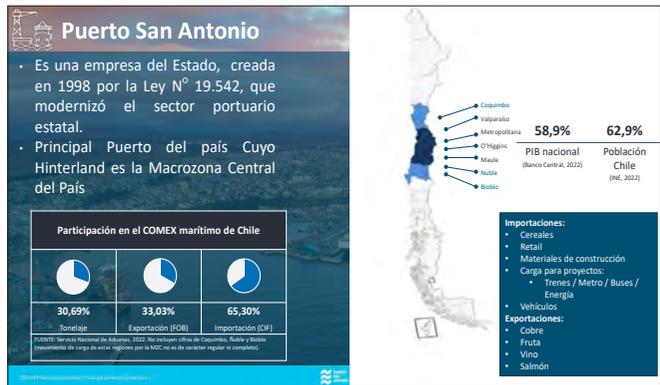


Figura 5

Y miremos la importancia que tiene en términos de la generación de riqueza y de la población. Esta macrozona central contiene el 62,9 % de la población chilena y el 58,9 % del PIB. Ahora, la participación de Puerto San Antonio en el comercio exterior marítimo es casi 31 % en toneladas, 33 % en las exportaciones y 65,3 % en las importaciones de todo el país.

Chile es un país muy abierto al comercio exterior y, por lo tanto, la importación es tremendamente importante para la riqueza del país. Por cierto, también lo es la exportación.

¿Qué es lo que se importa y lo que se exporta?

Se importa: cereales, retail, materiales de construcción, carga (cosas grandes como equipamiento de trenes para el metro, buses, artículos para equipamiento, para energía, etc.), vehículos.

Se exporta: cobre, fruta, vino, salmón.

No sé si ustedes se dan cuenta de la importancia que la macrozona central tiene respecto del conjunto del país en el comercio exterior, tanto exportación como importación, entonces, es claro que se requiere mayor infraestructura portuaria en la macrozona central (Figura 5).

Aquí hay un detalle de cómo han ido cambiando los tamaños de las naves; hoy día, Chile no recibe normalmente, barcos triple E que tienen 400 m de eslora (largo), y que pueden transportar más de 14.000 TEU, pueden ser 18.000, hoy día estamos escuchando 28.000 toneladas. Nosotros sí recibimos new panamax que tienen 367 m de eslora; hace pocos días recibimos un barco grande y pueden recibir 12.500 TEU, pero la tendencia en el mundo es a concentrar la cantidad de barcos, vale decir, disminuir la cantidad de barcos y agrandar la capacidad, entonces, eso exige una inversión de condicionamiento de los puertos para poder recibir más de un de un barco de 400 m de largo por vez (Figura 6).

2. El proyecto terminal intermodal Barrancas, que es un proyecto ferroviario que va a quintuplicar la capacidad de transferencia vía ferrocarril y que sale del puerto hacia Santiago y que llega al puerto.
3. El sistema Port Community System, (PCS) que es un sistema de intercambio de información de todos los servicios y “stakeholders” que tienen relación con el negocio y con la operación de puerto San Antonio.

En la línea verde de la figura, vemos una proyección optimista de carga; la línea azul es una proyección que da cuenta de la tendencia que ha tenido la transferencia de carga. Vemos que a partir de más o menos el año 2032, (proyección optimista) o a partir del año 2036 a 2038, si es que tomamos la proyección histórica de la carga, ya necesitaríamos haber incrementado la actual capacidad de transferencia de carga, es decir, ya debería empezar a operar el puerto exterior.

¿Por qué estamos ocupados de una manera tan intensiva en el año 2023, de tener en operación el puerto exterior a partir, al menos, del año 2036? Eso es lo que vamos a ir viendo, en qué consisten algunos proyectos y cuánto estimamos nosotros que se van a demorar en construirse (Figura 7).

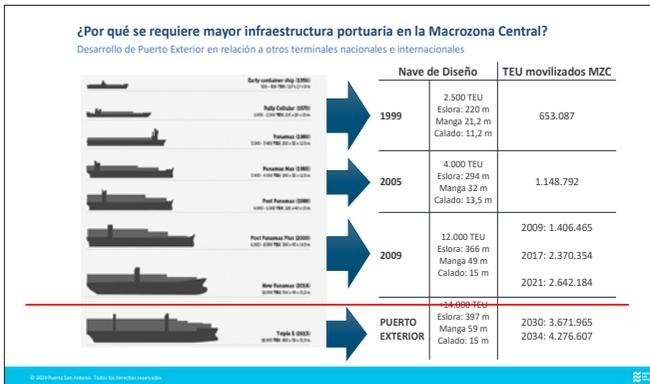


Figura 6

Si hablamos en términos de planificación portuaria, tenemos que concentrarnos en ver la capacidad portuaria con relación a las estimaciones de demanda. En el mapa de la Figura 7 podemos nosotros ver en el eje Y millones de TEU, en el eje X vamos viendo proyectos posibles en distintos años. Los puntos rojos muestran la capacidad actual. Por ejemplo, la capacidad actual de puerto San Antonio es de aproximadamente 2,6 millones de TEU; en el año 2025, esa capacidad va a mejorar algo por medio de 3 proyectos que están en diverso grado de desarrollo.

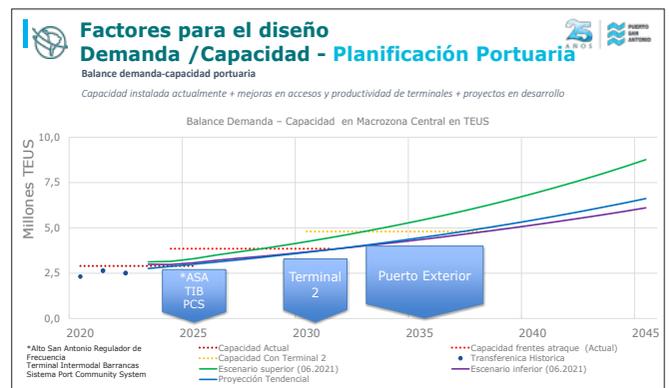


Figura 7

1. Es el regulador de frecuencia alto San Antonio, que va a empezar a operar en 2025.

¿Qué riesgos enfrentamos de existir congestión?

Un sistema de puertos congestionado en 2021, con el aparcadero de camiones completamente lleno. Ese año fue un muy buen año, de mucha carga transferida. Los patios de DP WORLD estaban al tope y se veían innumerables camiones por el puerto e incluso por calles de San Antonio, lo que es muy molesto para los ciudadanos, por supuesto.

Además, cuando hay congestión se suben las tarifas, eso ocurre en todo el mundo. La congestión genera un daño económico y un daño ambiental, de contaminación en las ciudades donde están los puertos. Entonces, nosotros no debemos dejar que se congestionen los puertos, ya que no solo se congestionan porque hay mucha carga que llega a los puertos, sino que tiene que salir de los puertos o llegar a ellos y, por lo tanto, hay que coordinar el transporte marítimo con el transporte terrestre y con el transporte ferroviario (Figura 8).



Figura 8

En la Figura 9 se muestra la razón por la cual se tomó la decisión que presentó la presidenta Bachelet cuando ya su Gobierno llegaba a su fin, en marzo del año 2018. Pero la idea de proyecto, que antes se llamaba de gran escala o megaproyecto o mega puerto, y hoy día se llama Puerto Exterior, ya se estaba trabajando en la macrozona central desde el año 2011 por lo menos. En el año 2018 se decretó que San Antonio va a ser el responsable de construir el puerto.

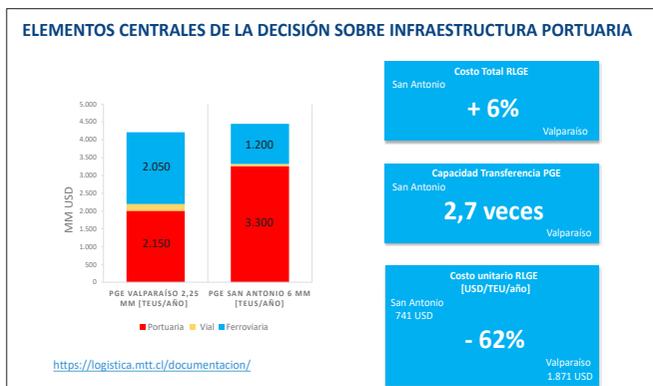


Figura 9

Si ustedes se fijan, en el estudio realizado en 2016-2017, el mega puerto de Valparaíso hubiese tenido una capacidad máxima de 2,25 millones de TEU por año y el puerto exterior, de San Antonio, de 6 millones de TEU por año; la figura muestra, en la sección de color rojo, el costo portuario; en la amarilla, el costo vial, y en la azul, el costo ferroviario. El costo total de la red logística de mega puerto de San Antonio es un 6 % mayor que el de Valparaíso; pero la capacidad de transferencia es 2,7 veces mayor. Esto hace que el costo unitario en US\$/TEU/año en San Antonio sea un 62 % inferior al de Valparaíso.

Se estima que un mega puerto debiese tener una duración mínima de 100 años. El mega puerto de Valparaíso no podría crecer más, por lo que llegaría un momento en que la demanda de transferencia de carga se haría mayor a la capacidad del puerto antes de los 100 años. Quiero comentar que puerto San Antonio es hoy el puerto más grande de Chile, sin competencia en capacidad y operación de transferencia de carga. Cabe suponer que un puerto de la envergadura de puerto exterior será la única obra portuaria de una magnitud como la descrita, en muchos años. Espero que hayan quedado muy claras las razones de la localización del puerto a construir en el decreto de 2018.

Si bien es cierto que el puerto de San Antonio tiene una obligación con la Comunidad de San Antonio, respecto de hacer un proyecto enorme e importante para la ciudad, no es menos cierto que la construcción del puerto exterior exige, también, contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de la población de la provincia de San Antonio.

Sin embargo, acordémonos que el puerto de San Antonio sirve a toda la zona macro central, donde se genera el mayor porcentaje del PIB y donde habita el mayor porcentaje de la población de Chile. Esto convierte a puerto exterior en un proyecto para todo el país. Puerto Exterior es un proyecto país, no solo local, dada la enorme gravitación que el comercio exterior tiene sobre la economía de Chile, en el que los puertos son su puerta de entrada. Esta es la razón por la que, en diciembre del año pasado, el Presidente Boric declaró que este proyecto era un proyecto de carácter estratégico, y también lo dice cada vez que puede nuestro Ministro de Transporte y Telecomunicaciones, el Ministro Juan Carlos Muñoz.

Veamos qué características generales tiene este puerto exterior que, como recién he sostenido, es un proyecto de

nivel país, un proyecto de Chile, del Estado de Chile; es un proyecto muy complejo, que requiere muchos años de estudios, desarrollo de ingeniería, evaluaciones, permisos y construcción antes de estar operativo.

Veamos en qué consiste este proyecto.

Aquí vemos, en la Figura 10, que este puerto estará destinado mayoritariamente a la carga, descarga y operaciones portuarias de contenedores. La capacidad de transferencia total va a ser de 6 millones de TEU anuales. El TEU (twenty feet equivalent unit) es una medida de capacidad de contenedores, que corresponde a 20 pies (6,1 m largo) por 8 pies (2,33 m de ancho).



Figura 10

El tipo de barco que se está considerando, ustedes lo ven aquí, con una capacidad media de 14.700 TEU, va a tener dos frentes de atraque, de 1.730 m cada uno.

La inversión total del proyecto que se estima en 2023 es de 3.900 millones de dólares, o sea, nos estamos acercando a los 4.000 millones de dólares de inversión. Como he dicho ya varias veces, esta es una inversión que no es del tamaño normal de las inversiones portuarias que, a pesar de ser cuantiosas, no alcanzan este tamaño.

De esos 3.900, 1.400 se estiman de inversión pública, para la construcción de un enorme molo de abrigo, que veremos con mayor claridad en la próxima diapositiva.

Al estimar la rentabilidad social del proyecto, se ve que es enorme frente a las rentabilidades sociales de cualquier proyecto de infraestructura: El valor actual neto, VAN, es de

77.000 millones de dólares. La tasa interna de retorno social, TIR social es de 72,3 %. Las consideraciones que se hacen para estos cálculos están ligadas a ciertas caracterizaciones que hace el Ministerio de Desarrollo Social y Familia para calcular inversiones con impacto social.

Mil cuatrocientos millones de dólares son de inversión pública para el molo y 2.500 millones de dólares son los que van a tener que invertir los concesionarios privados, que serán dos: uno se hará cargo del terminal MAR (que lo llamamos el terminal 1) y el otro del terminal TIERRA (que lo llamamos el terminal 2) (Figura 10).

En primer lugar, me gustaría que miráramos el puerto actual, (Figura 11, izquierda), para que ustedes vean la relación de tamaño. La zona de circulación está comprendida en el puerto actual, y la sola zona de circulación de puerto exterior es casi del mismo tamaño del puerto actual.

Puerto Exterior tiene dos frentes de atraque, de 1.730 metros cada uno, con dos terminales en cada frente. Tendrá un enorme molo de abrigo, cercano a los 4.000 metros lineales, que además de protección, será una zona de recreo, ornato, comercio; esto nos va a permitir construir un “waterfront” muy interesante. El puerto construido en su totalidad se verá así al año 2045 a 2050 más o menos (Figura 11).

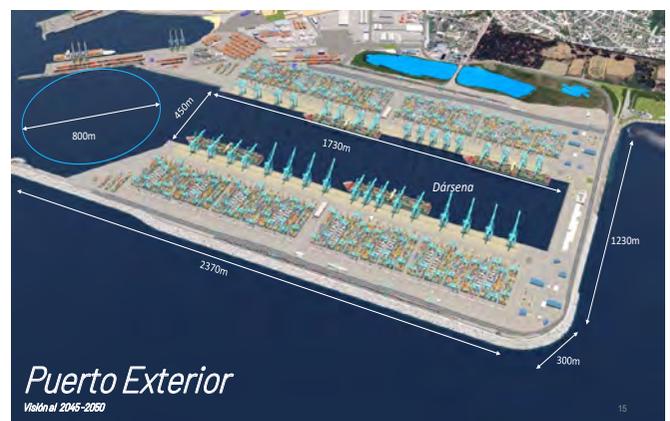


Figura 11

¿Cuáles son las obras que necesitamos?

Lo primero que tenemos que desarrollar son las obras habilitantes, que se construirán durante tres años, entre 2026 y 2028.

Según nuestro programa actual, deberíamos recibir a inicios del año 2026 la resolución de calificación ambiental. Debemos desarrollar 55 proyectos y contestar en total más de 2.000 observaciones, por lo que estamos trabajando a toda máquina. Si bien las observaciones son muchísimas, ésta será la segunda adenda. A partir de la primera presentación al SEA del proyecto original, que dieron origen a gran cantidad de observaciones, se propusieron muchos proyectos, algunos de gran importancia y que provocan modificaciones sustantivas al proyecto original. En agosto de 2022 se presentó al SEA la primera adenda con las importantes modificaciones señaladas. Creemos que la cantidad y magnitud de los cambios presentados son los que provocaron, nuevamente, tantas observaciones.

Por un lado, es incómodo que haya tantas observaciones, pero, por otra parte, al hacernos cargo de ellas, no cabe duda de que mejoramos un proyecto emblemático para el desarrollo de San Antonio y la calidad de vida de una gran mayoría de chilenos.

Abajo, en rojo, se señalan los primeros 3 años de construcción, que, como hemos dicho, corresponden a la construcción de obras habilitantes para poder construir el molo. Tenemos que preparar canteras, construir una estación de transferencia, un camino de unión entre ellas, y debemos construir un acceso ferroviario que llegue directamente al puerto. EPSA construirá una Estación de descarga en el puerto y la instalación de faena (Figura 12).

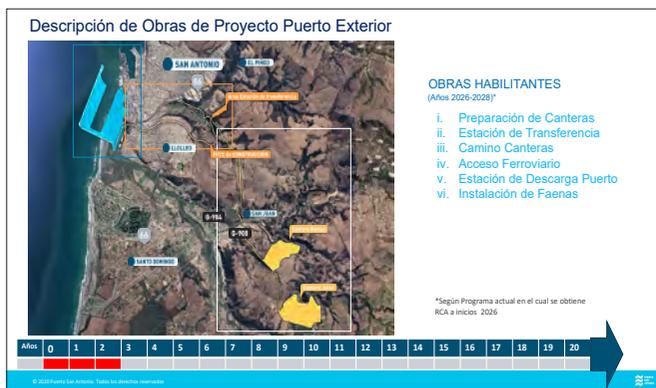


Figura 12

Luego está la construcción propiamente del rompeolas (Molo), que va a abrigar las aguas del nuevo puerto, y también las del puerto actual. Como decíamos, tendrá

4 km de longitud total. Para ello, se requiere un dragado con 5.490.000 m³ de material. Cabe señalar, que el material no será arrojado al mar, sino se utilizará en la construcción de plataformas del molo.

Esto va a demorar 5 años, entonces ya estamos al año 7 desde que se empezó con el trabajo de canteras (Figura 13).

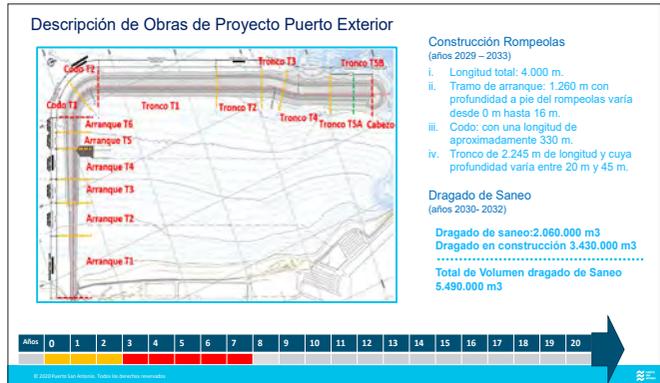


Figura 13

También hay que hacer lo que llamamos enrocados de cierre, los que son parte de la misma obra (Figura 14).



Figura 14

Dragado general y rellenos

Es necesario, además, dragar la dársena, el área de reviro, (el área de reviro es donde circulan los barcos cuando entran y salen) y el canal de navegación exterior e interior. En total vamos a tener 9.933.538 m³ de dragado y esto último va a demorar 3 años. Nuestra proyección, entonces, es que,

desde las obras habilitantes hasta la construcción del molo, nos vamos a demorar 10 años (Figura 15).



Figura 15

Los terminales portuarios vienen a continuación:

- La fase 1A tendrá una capacidad de 1,5 millones de TEU y se construirá entre el año 2033 y 2035.
- La 1B, igual capacidad, entre el año 2038 y 2040.
- La fase 2, entre el año 2042 y 2046, y cerca del año 2050, debiéramos tener el puerto totalmente construido.
- El puerto exterior será construido en forma gradual, ajustándose a las características de la demanda futura de puerto. Según el programa trazado, Puerto San Antonio tendrá la capacidad de transferir la carga que el comercio exterior demande, tanto de exportación como de importación, hasta el año 2150 más o menos (Figura 16).



Figura 16

Otras características:

- Tres tipos de grúas de funcionamiento eléctrico.
- Un Sistema “shore connection energy”. Las naves podrán apagar sus motores mientras estén en el puerto.
- Sistemas de recolección y plan de tratamiento de residuos, según un convenio internacional (MARPOL) para prevenir la contaminación por buques.
- Reutilización del 100 % del material dragado, tal como se comentó anteriormente.

Si ustedes ven, hay una enorme conciencia ambiental en el diseño de las características centrales del puerto (Figura 17).



Figura 17

La evaluación ambiental.

Presentamos la adenda 1 en agosto del 2022; se inició el segundo proceso ciudadano el 7 de octubre, se terminó el 16 de diciembre y recién el 31 de agosto siguiente se recibió el ICSARA ciudadano. Con este material y el ICSARA del SEA, que se le entregó a la empresa en enero de 2023, tenemos que presentar, en diciembre del año 2024 una adenda complementaria que estamos trabajando en conjunto con la comunidad y con las autoridades, de modo tal que disminuyan sensiblemente las observaciones en la ICSARA complementaria respecto de las observaciones a la adenda anterior (Figura 18).

Aquí se puede ver lo que ocurre con el ICSARA; si ustedes se fijan, por ejemplo 64 % de las respuestas requieren resultados de estudio; el propio SEA emitió 454 observaciones. Cabe indicar que las observaciones que emitió en la presentación anterior fueron un 10 % de aquellas. Surgen inquietudes

que es necesario resolver en conversaciones con el SEA y las autoridades competentes, que nos vayan orientando hacia la posibilidad de tener un ICSARA que nos permita empezar las obras al año 2026 (Figura 19).



Figura 18



Figura 19

Proyecto para mejoramiento de caletas de San Antonio y otros.

Hay algunas reseñas de proyectos de mejoramiento para la población, para la comunidad de San Antonio, en base a las mitigaciones y los mejoramientos que proponemos a partir de la adenda 1. Por ejemplo, mejorar las caletas de San Antonio, las lagunas de Llolleo, (a lo mejor ustedes las han oído nombrar por el nombre Ojos de Mar); estas son lagunas que se conservarán como tales, y se va a construir una red de espacios públicos en torno a ellas, que se denominará Parque Lagunas de Llolleo (Figuras 20 y 21).



Figura 20



Figura 21

Las fotos siguientes muestran algunas de las iniciativas que se desarrollarán como parte del proyecto Puerto Exterior. La foto de la izquierda, del paseo Molo, es una foto que en realidad es del puerto Barcelona, y representa bien el uso recreacional posible del paseo Molo de puerto exterior; se va a habilitar, también para recreación, la ribera oeste del Estero El Sauce que bordea la zona, y se va a renovar el Parque DyR, en primera instancia para que tenga instalaciones donde se pueda practicar deporte de una manera satisfactoria para los habitantes (Figura 22).

Hitos del ciclo de vida del proyecto Puerto Exterior hasta 2026.

Entre 2013 y 2014 se definieron los ejes: ingeniería; estudios de terreno; modelo de negocio y evaluación social del proyecto; conexión ferroviaria; estudios ambientales e integración de la ciudad-puerto. Cabe reiterar que desde los primeros pasos del proyecto Puerto Exterior hemos

estado conscientes de la necesidad de integrar la ciudad con el puerto.



Figura 22

Entre 2013 y 2019, se hizo el estudio de prefactibilidad con ingeniería básica, modelo de negocio, se optimizó la ingeniería, se inició el proceso de los estudios ambientales para presentarlos al sistema de evaluación ambiental, se hizo una evaluación social y se formuló un proyecto de corredor ferroviario al que también se hizo una evaluación social.

Entre 2019 y 2025, etapa en la que nos encontramos en este momento, estamos abocados a recibir aprobaciones técnicas. Ya recibimos un informe favorable del tribunal de libre competencia para licitar el Terminal Mar, el primer terminal que licitemos. Requerimos, además, que el proyecto sea aprobado por la dirección de obras portuarias y, como hemos mostrado, estamos en pleno proceso de tramitación ambiental.

Entre 2024 y 2026 se va a hacer el diseño y habilitación de las obras; confiamos en que vamos a obtener, en 2025, una resolución de calificación ambiental favorable y se habrá definido una estrategia de financiamiento; en 2026 se iniciarán los procesos de licitación del primer terminal (Mar) y se habrá logrado un resultado favorable para los más de 600 permisos sectoriales que se requieren.

El inicio de obras es a partir del año 2025, con las obras habilitantes, para luego empezar a construir el molo y hacer el dragado. Como se ha dicho, en 2026 comenzará el proceso de licitación del terminal MAR (Figura 23).

¡Muchas gracias!



Figura 23

Al término de la Conferencia, la Sra. Bendersky, respondió consultas y comentarios de los asistentes. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones. El Sr. Cristian Hermansen hace de moderador.

Sr. Cristian Hermansen

—El nuevo Puerto de Chancay en Perú, ¿cómo afecta el proyecto de Puerto Exterior de San Antonio?, ¿cómo afecta sus plazos? Chancay lleva un avance del 40 % con una participación estatal de China, ¿cómo ves eso del clima geopolítico? y una comparación al final de tamaño, de característica entre el Puerto Exterior y Chancay.

Sra. Sally Bendersky

—Quisiera decir que tenemos una competencia que es sana. La ley 15.784 de puertos, que nos rige, estimula y exige competencia entre nosotros mismos que somos puerto del Estado, ¿por qué? porque eso reduce tarifas, disminuye congestión, impulsa el desarrollo tecnológico de los puertos etc. Entonces, si nosotros ahora consideramos Perú, Ecuador, Colombia, incluso México, como parte de un ecosistema mayor que el ecosistema chileno de comercio exterior, entonces lo podemos ver de la misma manera, la competencia entre nosotros, como algo sano. Vamos a competir en calidad de servicio, vamos a competir en tecnología, vamos a competir en innovación, etc.

Ahora, Chancay existe porque Perú lo necesitaba para las necesidades peruanas, pero por supuesto que se irá abriendo.

Chile es el último país del continente, ubicado en la parte sur continental, está nada más que a 1.200 km del Polo Sur, entonces somos un país bastante limítrofe del mundo.

Por un lado, hay una necesidad peruana que se debe satisfacer, ya que se requiere coordinar la actividad de Callao con la actividad de Chancay para transportar más material minero que la capacidad que existía antes del puerto Chancay, que va a tener una capacidad, según entendemos, de 1,5 millones de TEU. En medios de comunicación dicen que van a partir en el año 2024; en verdad, supongamos que van a partir con esos 1,5 millones de TEU en 2025-2026, en un momento en que entre Valparaíso y San Antonio nosotros somos capaces de recibir la demanda que tenemos hoy día, y nuestros puertos actuales tendrán que mejorar la capacidad de transferencia en cifras que no deberían ser sustantivas y que la eficiencia y el desarrollo tecnológico de nuestros puertos deberán contribuir a lograrlo.

Entonces, desde un punto de vista de amenaza, (diría que no es una amenaza, sino que es un estímulo), uno dice cómo convierte algo problemático en una oportunidad. Esta posible amenaza nos estimula a generar conciencia de la necesidad de un rápido avance en nuestros proyectos, en las autoridades relevantes, en los “stakeholders” y en los ciudadanos en general.

Ahora, por otra parte, y mirándolo desde otro punto de vista, como decía antes, como un gran ecosistema, todos los puertos de Sudamérica somos parte de una cadena logística y las navieras lo miran como una cadena, como una red logística. Esto hace que las condiciones bajo las cuales opera, seguramente en muchos casos va a ser de cooperación. Yo no tengo ninguna duda, si no cooperamos entre los puertos de la costa occidental, a ninguno de los puertos nos va a ir bien. Tenemos que ir colaborando entre nosotros.

Finalmente, también quiero decir que a nosotros nos conviene y no solo nos conviene, es imprescindible que lo que exportamos e importamos llegue directamente a Chile y no a Perú, porque si tiene que llegar a Perú y después nosotros tenemos que pagar el viaje de Perú a Chile, el costo de vida de más de la mitad de la población de Chile va a subir, y va a subir de una manera relevante. Tenemos apuro, es un estímulo de urgencia que exista Chancay, que exista Callao, que existan otros puertos que están en desarrollo, pero también son una oportunidad de coordinación que va a ser absolutamente necesaria a medida que avanza el siglo XXI.

Sr. Cristian Hermansen

—*Hasta que esté listo el Puerto Exterior, ¿cómo va a poder Chile manejar el aumento de carga de importación y exportación?*

Sra. Sally Bendersky

—Mostré en un cuadro que se podría producir saturación, si no se hace nada, a partir más o menos del año 2030, dependiendo también de las decisiones de inversión que se tomen en Valparaíso. Nosotros en la macro zona central, entre estos dos puertos, vamos a ser capaces de satisfacer lo que pensamos que va a ser la demanda de los primeros años de la década 2030 y yo creo que esto es así porque la pandemia atrasó la saturación proyectada de la demanda.

Sr. Cristian Hermansen

—*¿Cuáles son los parámetros de altura de ola y limitaciones operacionales en el Puerto Exterior comparado con la situación actual?*

Sra. Sally Bendersky

—Nosotros tenemos la esperanza de que la altura de ola aceptada va a ser más alta que la de hoy cuando esté el Puerto Exterior en funcionamiento. Por otro lado, también estimamos que el molo de abrigo, como su nombre lo indica, va a disminuir la intensidad de las marejadas que se produzcan. Hemos sido ya capaces, en primer lugar, de acordar una altura mayor (2 metros) que la que había hace 3 años atrás, y por otro lado, hemos sido capaces en el año 2022, por ejemplo, de disminuir en 27 días el cierre de puerto (nosotros tenemos la desgracia de tener un puerto abierto que tiene marejadas).

El molo de abrigo, que tiene 4 km de largo y que va a tener un enrocado y una cantidad de material gigantesca, va a permitir que a lo mejor no suba respecto de lo que es hoy día la altura de ola y, por otra parte, vamos a haber hecho y ya estamos haciendo (dos innovaciones tecnológicas que este año se van a poder apreciar) y otras innovaciones que están en diverso estado de desarrollo. Trabajamos para quedar preparados con el molo de abrigo, con innovaciones tecnológicas, con buenos acuerdos con la DIRECTEMAR,

para poder aumentar la altura máxima de ola aceptada o bajar la altura de ola a partir del molo.

Sr. Cristian Hermansen

—¿Cuáles son los hitos claves de integración a la comuna?, ¿cómo afecta la vialidad de la ciudad, la articulación territorial y planificación estratégica con la ciudad para el desarrollo de proyectos complementarios, por ejemplo, con los industriales?

Sra. Sally Bendersky

—Hay diversos tipos de colaboración puerto ciudad que es necesario abordar, por ejemplo, en la pregunta no está el tema de la educación portuaria, que es otro tema que hay que abordar en conjunto entre el puerto y la provincia.

Lo que nosotros pensamos, es que necesitamos tener la posibilidad de trabajar en colaboración con la ciudad, hoy día estamos recién conversando sobre alternativas a proponer y es muy complicado decir cuáles son las que uno está pensando, porque cuando se ejecute el proyecto las primeras ideas probablemente no serán las que se van a cursar, pero lo que sí quiero decir es que estamos conversando acerca de la necesidad, y yo creo que la conciencia ha aumentado muchísimo, a todo nivel, respecto de la necesidad de que el puerto participe activamente en el mejoramiento de las condiciones del desarrollo y de vida de la población. Por lo tanto, tenemos el tema de la educación, tenemos el tema del paisaje y las condiciones de ornato y de recreación para la población; doy un ejemplo: hace algunos meses atrás, inauguramos un paseo que llamamos el borde costero norte, que ha tenido un éxito extraordinario, porque es un lugar precioso, frente al mar, donde van las familias a pasear con sus hijos. Ya conocemos la sensibilidad de la población en el sentido de ser muy buena receptora, sobre todo porque en esta etapa que estamos comenzando ahora, pretendemos conversar con la gente antes de hacer las cosas, por eso estamos hablando hasta cierto punto de cocrear con la comunidad.

Con respeto al aparato productivo en la zona, nosotros participamos en todas estas cosas que le mencioné, somos miembros del foro de desarrollo productivo, somos secretario ejecutivo del Consejo de Coordinación Ciudad Puerto, somos miembros del directorio del CFT estatal que está

iniciando una carrera técnica portuaria. Me complace mucho decir que en el primer curso hay más mujeres que hombres matriculados, y en esta industria tan masculina es gratificante escuchar algo así. De manera tal que, lo que estamos haciendo es conversar con los oferentes, universidades, por ejemplo, carreras de arquitectura etc. Estamos conversando con oferentes y con usuarios de beneficios para la ciudad, de modo tal de poder generar proyectos que incentiven a que la gente se quede en San Antonio, que trabaje en San Antonio, y que surja la provincia. Por supuesto que esto va a demorar hartos años, pero ya empezamos un camino que yo tengo la confianza o por lo menos la esperanza de que no se va a detener.

Sr. Cristian Hermansen

—¿Se considera en el puerto exterior el transporte de hidrógeno verde y amoníaco?

Sra. Sally Bendersky

—En una primera etapa no está planteado, pero el hidrógeno verde es algo que nos interesa, nosotros ya hemos trabajado y hemos hecho experiencias en nuestro propio puerto para ver qué necesidades tendríamos de hidrógeno verde. Pero tengo que decir que, frente a los desafíos que tenemos y frente a las posibilidades que tienen zonas como la zona austral, no es una primera prioridad para nosotros el transporte de hidrógeno verde. Otra cosa distinta es que desde hace algunos años trabajamos en tecnología limpias, huella de carbono, etc.

Sr. Cristian Hermansen

—¿Cuáles son los planes de mitigación de emisiones una vez que esté funcionando, el efecto de la pesca artesanal en la etapa de dragado? y ¿cómo se mitigan los impactos operativos en el periodo de construcción?

Sra. Sally Bendersky

—Por cierto que en la etapa de construcción va a haber impactos operativos y la idea es conversar con las comunidades que se van a ver afectadas, de manera tal que ellas

conozcan en qué van a ser afectadas y podamos establecer en conjunto medidas de mitigación lo más inmediatas posibles, no vamos a esperar a construir el puerto propiamente tal, sino que desde que empecemos a trabajar en las obras habilitantes, vamos a encargarnos de mitigar efectos negativos que pudiesen tener en algunos sectores residenciales. La mitigación es parte del trabajo de habilitación y ya lo estamos conversando con algunas comunidades.

Sr. Cristian Hermansen

—*¿Contempla el diseño del puerto transformarse en un “hub” de cabotaje en Chile?*

Sra. Sally Bendersky

—Es algo que no está suficientemente discutido, por lo tanto, no tenemos una respuesta que pudiésemos dar hoy día, eso es un tema que va a emanar del Ministerio de Transporte, nosotros ejecutamos la política portuaria que emite el Ministerio.

Sr. Cristian Hermansen

—*¿El acceso ferroviario está contemplado en el proyecto, servirá al proyecto actual, se puede adelantar para servir al proyecto actual y va a existir un antepuerto?*

Sra. Sally Bendersky

—Si te refieres al proyecto ferroviario actual transferencia intermodal Barranca, sí va a servir. Es como un mínimo, pero no vamos a partir de cero. Sin embargo, las dimensiones son muy distintas. El corredor ferroviario futuro de puerto San Antonio es un proyecto enorme y complejo.

Sr. Cristian Hermansen

—*¿Para qué se necesita una ampliación en San Antonio si ya recibe buques grandes?*

Sra. Sally Bendersky

—Una golondrina no hace verano. En San Antonio se recibió un barco de 367 m, es cierto, pero el tamaño de muelles no permite recibir otro grande simultáneamente, y el equipamiento existente no es el necesario para ello. En muelles de 700 metros y menos, como los nuestros, hay que planificar, no hay que llegar y decir “se puede, hagámoslo”, hay que planificarlo. Hoy día se están recibiendo barcos de 368 m y de más de 12.500 TEU, pero necesitamos recibir varios al mismo tiempo. No tenemos una zona de acceso compatible.

Sr. Cristian Hermansen

—*¿Cuáles son los riesgos del proyecto?*

Sra. Sally Bendersky

—El mayor riesgo es que de repente no se llegue a las resoluciones positivas y no se otorguen los permisos etc., pero nosotros de ninguna manera pensamos que eso va a pasar. El país no se puede dar el lujo de perder clientes navieros o de saturar la ciudad de San Antonio, sus calles, sus accesos, y sus carreteras de conexión, debido a la congestión producida por camiones.

Fin de la conferencia.

PREMIO “MEDALLA DE ORO – AÑO 2023”

Al Sr. Sergio Lavanchy Merino



Don Sergio Lavanchy Merino recibe de parte de la Sra. Cominetti, Presidenta del Instituto de Ingenieros, la Medalla de Oro y Diploma de Honor – Año 2023.

Don Sergio Lavanchy Merino recibe de parte de la Sra. Cominetti, Presidenta del Instituto de Ingenieros, la Medalla de Oro y Diploma de Honor – Año 2023.

El pasado martes 7 de noviembre de 2023, en ceremonia solemne realizada en el Salón de Honor del Instituto, don Sergio Lavanchy Merino recibió el premio “Medalla de Oro – Año 2023”, máximo galardón de la ingeniería chilena.

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

A continuación, como es tradicional, la presentación del galardonado estuvo a cargo del ingeniero que obtuvo esta distinción el año anterior, don José Rodríguez Pérez.

La Presidenta

—Sr. Sergio Lavanchy Merino, premio Medalla de Oro del Instituto de Ingenieros de Chile año 2023. Sr. José Rodríguez Pérez, premio Medalla de Oro, año 2022.

Familiares y amigos del galardonado. Socios del Instituto. Señoras y señores:

El 28 de octubre, el Instituto celebró su 135 aniversario. La entrega de la Medalla de Oro, el galardón más prestigioso de la ingeniería chilena, es nuestra forma de conmemorar este hito. Por cuestiones de calendario y disponibilidad, nos reunimos hoy con entusiasmo y alegría para homenajear a nuestro galardonado.

Desde su fundación, el Instituto de Ingenieros de Chile ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo del país, contribuyendo a la discusión de temas fundamentales para su progreso y el bienestar de sus habitantes.

Sus valiosas contribuciones son reconocidas, desde los informes iniciales sobre la política eléctrica chilena y el plan de electrificación del país, hasta propuestas clave como la creación de ENDESA y ENTEL. Más recientemente, publicaciones como “Sobre la estrategia y gestión de contratos” y “Factores condicionantes del éxito en proyectos de inversión”, junto con el libro “Prospectivas de la Ingeniería Chilena” de este año, demuestran su compromiso continuo con el avance del campo. Estos valiosos recursos están disponibles para el público en nuestro sitio web.

Es esencial destacar que estos logros son resultado del arduo trabajo de grupos de ingenieros de excelencia, que se reúnen para analizar temas considerados cruciales para el desarrollo del país por la junta directiva del Instituto.

Además de estas actividades, el Instituto tiene el honor y la responsabilidad de reconocer a aquellos ingenieros destacados por sus contribuciones a la profesión, la sociedad y al propio Instituto.

Hoy, culmina el proceso de selección y premiación anual con la entrega de nuestra máxima distinción, la Medalla de Oro. Esta ceremonia, tradicionalmente solemne pero llena de legítima alegría, captura lo mejor de aquellos ingenieros que han contribuido de manera significativa a la construcción del Chile en el que vivimos hoy.

La Medalla de Oro es el máximo reconocimiento que otorga anualmente el Instituto de Ingenieros de Chile y se concede al ingeniero que se ha destacado a lo largo de su carrera por sus notables contribuciones y servicios al país, la profesión o al propio Instituto.

En el panel de honor ubicado detrás de mí en este Salón de Actos, se encuentran los nombres de todos los merecedores de este premio desde 1931, incluidos algunos de los más distinguidos ingenieros de nuestro país.

Cada año, esta lista se enriquece con la incorporación de otro destacado profesional, contribuyendo así al prestigio que ha adquirido este premio.

El proceso de selección de candidatos para este premio involucra la designación anual de una comisión por parte del Directorio del Instituto, encargada de revisar los antecedentes de los postulantes propuestos por nuestros socios. La comisión realiza una selección que luego se presenta al Directorio y al Consejo Consultivo del Instituto, quienes, en una sesión solemne y con votación secreta, deciden el premiado.

Este año, al otorgar la Medalla de Oro al señor Sergio Lavanchy Merino, honramos el prestigio asociado a este galardón y enriquecemos su legado al incorporar a tan distinguida personalidad a este selecto grupo. Su nombre ya ha sido incluido en el panel de nuestra sede.

Es una tradición apreciada y respetada de nuestra institución es que el honor de presentar formalmente a nuestros premiados, recaiga en el ganador del premio del año anterior. En esta ocasión, es el turno del señor José Rodríguez Pérez, ganador de la Medalla de Oro en 2022. Permítanme salir brevemente del protocolo para destacar que, gracias a la colaboración de Sergio Lavanchy, cuando era Rector de la UDEC, la Editorial Universidad de Concepción publicó dos importantes libros: “Chile supera la encrucijada: Retos y decisiones” y “La formación de ingenieros civiles en Chile”, en los años 2005 y 2018, respectivamente.

Antes de ceder la palabra al Sr. Rodríguez, como Presidenta del Instituto, me gustaría expresarle a nuestro homenajeado, con todo cariño, que muchos presentes y ausentes desean extenderle sus más cálidas y sinceras felicitaciones por el merecido galardón que recibirá hoy. Estamos realmente satisfechos de que sus logros sean reconocidos en esta ocasión por nuestro Instituto.

Sr. José Rodríguez Pérez

—Tengan ustedes un muy buen día.

Me corresponde el alto honor de presentar el Sr. Sergio Lavanchy, quien ha sido galardonado con la Medalla de Oro del Instituto de Ingenieros, la más alta distinción que otorga esta prestigiosa institución. Es para mí motivo de gran alegría realizar esta tarea, porque conozco mucho a Sergio ya que nos tocó trabajar juntos por cerca de 9 años.

En efecto, en el Consejo de Rectores de las universidades chilenas, el CRUCH, los puestos asignados eran fijos y todos los meses mi compañero de asiento era Sergio Lavanchy el rector de la Universidad de Concepción. En esas circunstancias pude desarrollar por Sergio un sentimiento de genuino aprecio, tanto por sus condiciones profesionales como personales. Para preparar estas palabras, sostuve varias reuniones con Sergio, lo que me permitió ahondar más en su faceta más íntima.

BIOGRAFÍA

Sergio nació en Concepción el 20 de abril de 1943, hijo de Cornelio Eduardo Lavanchy Contreras y Elvia Luisa Merino Fuentes. Casado con Patricia Elizabeth Needham Herrera, tuvieron dos hijos Fanny Elizabeth, Arquitecto, y Alfonso Edgardo, Ingeniero Civil Mecánico; y dos nietos, Sofía Francisca e Ignacio de Jesús.

En 1967 terminó sus estudios de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica del Estado en Santiago. Entre 1970 y 1972 realizó estudios de postgrado en la Universidad de Toronto, Canadá, donde obtuvo el grado académico Master of Applied Science (M. A. Sc.) con especialización en Mecánica de Sólidos, Elasticidad, Plasticidad, Resistencia de Materiales y Procesos de Manufactura.

EL COHETE SIGMA A2

Antes de entrar a detallar la carrera profesional de Sergio, deseo compartir un hecho que me llamó mucho la atención en nuestras conversaciones. Me refiero al cohete Sigma A2. Sergio compartió conmigo un documento que considero extraordinario, que es una copia del diario “Gaceta Universitaria” publicado por la Universidad Técnica del

Estado el año 1964, hace casi 60 años. El título del artículo es “Gran hazaña en Concepción” y la bajada de título dice “Estudiantes de la UTE alcanzan 20.000 metros de altura con el cohete Sigma 2”. Y en una de las fotos del artículo el título es “Sergio Lavanchy colocando la segunda etapa del cohete Sigma A 2”. Lo notable de este reportaje es que muestra un trabajo de ingeniería de excelencia, del mayor nivel que uno pueda imaginar, que está en el espíritu de la medalla que se entrega hoy. Y mirando este suceso hoy, 60 años después, coincido con los autores del artículo al calificarlo como una hazaña realizada por jóvenes estudiantes de ingeniería. Sobre todo, al considerar que la NASA llegó a la luna el año 1969, 5 años después.

CARRERA ACADÉMICA

En 1968 se incorporó a la Sede en Concepción de la Universidad Técnica del Estado, para modernizar los planes de estudios y actualizar la enseñanza de la Física, función que desarrolló hasta septiembre de 1970, cuando inicia sus estudios de postgrado en Canadá.

En 1973 ingresó al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Concepción como Jefe de Laboratorio de Resistencia de Materiales y del Área de Mecánica de Sólidos, dictando docencia de pre y postgrado en diversas asignaturas, para luego dirigir el Departamento entre 1984 y 1993. Este último año fue elegido Decano de la Facultad de Ingeniería, cargo que ejerció hasta 1998, año en el que fue elegido Rector de la Universidad de Concepción.

Ha participado activamente en organizaciones académicas y profesionales a nivel regional y nacional. Entre 1995 y 1996 presidió el Consejo Nacional de Decanos de Facultades de Ingeniería y entre 1996 y 1998 presidió el Consejo Regional del Colegio de Ingenieros de Chile. Entre los años 2000 y 2004 fue elegido Vicepresidente Ejecutivo del Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas, y el año 2006 integró el Consejo Asesor Presidencial de la Educación, para proponer reformas al Sistema de Educación Superior. En marzo de 2015 le correspondió asumir la presidencia de la Red de Universidades No Estatales del Consejo de Rectores. Entre 2002 y 2018 integró el Directorio de Universia Chile.

Durante los años en los que su función principal fue la de académico de la Facultad de Ingeniería, fue profesor guía de más de 35 memorias de título para estudiantes de

Ingeniería Civil Mecánica y estudiantes de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Mecánica y Mención Metalúrgica. En colaboración con otros académicos, publicó varios trabajos en revistas y congresos de la especialidad. Además, ha participado en cerca de 30 proyectos de asistencia técnica y asesorías a empresas, a través del Instituto de Investigaciones Tecnológicas dependiente de la Facultad de Ingeniería.

GESTIÓN COMO RECTOR (1998-2018)

Docencia

- En docencia de pregrado, en el período se impulsó la creación de nuevas carreras, junto a un aumento de los cupos en cada una de ellas, como una forma de ofrecer más y mejores oportunidades de formación a los jóvenes, principalmente del sur del país, en los tres campus en los que la Universidad realiza sus actividades académicas, Concepción, Chillán y Los Angeles. Esta política universitaria permitió pasar de 14.290 alumnos de pregrado el año 1998 a 25.080 el año 2017.
- En formación de postgrado, de una matrícula de 203 alumnos el año 1998 en programas de doctorado, el año 2017 la matrícula era de 688 alumnos.
En forma similar, en el mismo período la matrícula en programas de magíster aumentó de 638 alumnos a 1833.

Investigación

- Se dio énfasis al apoyo para la creación de conocimiento mediante la ejecución de iniciativas de investigación, desarrollo e innovación, las que se ejecutan con financiamiento externo, por medio de diferentes concursos convocados por CONICYT, CORFO y Ministerio de Educación. Esta política de apoyo a los investigadores permitió que en el cuatrienio 1998-2001 se aprobaran 100 proyectos Fondecyt y en el cuatrienio 2014-2017 fueran aprobados 243. Igual situación y para los mismos períodos se pasó de 18 a 93 proyectos Fondef aprobados.
- Se creó la Oficina de Propiedad Intelectual y Patentamiento para apoyar a los investigadores en la protección de la propiedad intelectual y la obtención de patentes de invención, área en la que la Universidad fue distinguida en varias ocasiones por el Instituto Nacional de Propiedad Intelectual (INAPI), como la institución que mayor número de patentes registró en nuestro país.
- El énfasis y la perseverancia institucional para apoyar a los investigadores de la Universidad, hizo que aumentara

significativamente el número de publicaciones indexadas; es así como en el período 2008-2017 las publicaciones WOS (ISI) alcanzaron la cifra de 7.118 publicaciones.

Estructura orgánica

Con el objetivo de mejorar la eficiencia de la gestión de las nuevas áreas de actividades que surgen de nuevos requerimientos y oportunidades, en el período de 20 años se crearon centros temáticos, los cuales fueron dotados de infraestructura y equipamiento adecuado, entre los que destacan:

- La creación en el año 2002 de las Incubadoras de Empresas dependientes de la Dirección de Desarrollo e Innovación.
- El mismo año 2002, en una alianza con el Gobierno Regional se creó y construyó el Centro de Biotecnología, con una inversión cercana a los tres mil millones de pesos, inaugurado por el Presidente Ricardo Lagos E.
- El año 2004 se crea el Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia.
- El 2009 se crea el Centro Interactivo de Ciencia, Arte y Tecnologías (CICAT), que nace en coordinación con el Programa Explora de CONICYT, el cual es emplazado en la comuna de Coronel, con la misión de contribuir a la construcción de una cultura científico-tecnológica y así acercar a niños, jóvenes y adultos a la ciencia, de manera interactiva y entretenida. Entre 2010 y 2017 el Centro recibió la visita de aproximadamente 190.000 personas.
- El 2011 se crea el Centro de Microscopía Avanzada y el Centro de Desarrollo Farmacológico.
- El 2014 se crea el Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería.
- El 2016 se crea el Centro de Vida Saludable.

En otro orden de cosas, el terremoto y tsunami del año 2010, significó para la Universidad enormes daños en infraestructura y equipamiento de laboratorios. La reconstrucción incluyó la recuperación del edificio de la Facultad de Ciencias Químicas en el Campus Concepción, que fue severamente dañado por el sismo y posterior incendio, como también la Estación de Biología Marina en Dichato que fue arrasada por el tsunami.

Un gran logro de la gestión universitaria, sustentada en el trabajo de toda la comunidad universitaria, fue la certificación de excelencia otorgada a la Universidad al obtener la Acreditación Institucional por siete años en el 2016, en



*Sra. Silvana Cominetti junto a don Sergio Lavanchy Merino, premio “Medalla de Oro – Año 2023”
y don José Rodríguez Pérez, premio “Medalla de Oro – Año 2022”.*

Gestión Institucional, Docencia de Pregrado, Docencia de Postgrado, Investigación y Vinculación con el Medio.

CONTRIBUCIÓN A LA USM

Dentro de sus contribuciones a la gestión universitaria hay una que debo mencionar y que escapa a su trabajo en la Universidad de Concepción. En una de nuestras conversaciones al estar sentados juntos, yo Rector nuevo, pajarito nuevo, le comenté a Sergio de una iniciativa que estaba pronta a ser aprobada en mi universidad, impulsada por los profesores, relacionada con planes de retiro. Cuando le expliqué los detalles Sergio me dijo con mucha fuerza “te recomiendo que no lo hagas, si lo hacen cometerán un grave error que tendrá consecuencias financieras y patrimoniales”. Fue esta recomendación de Sergio la que me hizo revisar con mucha atención esta iniciativa y al final me opuse y no la promulgué. Obviamente, no me felicitaron los profesores, pero visto en retrospectiva fue una de las mejores decisiones que tomé en beneficio de la institución. Y te lo agradezco Sergio.

DISTINCIONES

Por su trayectoria académica y profesional ha recibido diversas distinciones, entre las que puedo mencionar:

- Miembro Honorario del Consejo de la Especialidad de Mecánica del Colegio de Ingenieros de Chile. 2001.
- Ingeniero Distinguido. Consejo Regional del Biobío del Colegio de Ingenieros de Chile. 2006.
- Distinción ABDERRAMAN III. Universidad de Córdoba, España. 2007.
- Medalla 20th Aniversario Universidad San Sebastián. 2009.
- Medalla Bicentenario del Consejo Regional de la Cultura y las Artes, Región del Biobío. 2010.

Finalmente, felicito al galardonado y su familia por este merecido premio y también felicito al Directorio del Instituto por esta sabia y acertada decisión.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Después de la presentación, el ingeniero don Sergio Lavanchy Merino, recibió la Medalla de Oro y Diploma de Honor. A continuación, tomó la palabra para agradecer la distinción recibida en los siguientes términos:

Sr. Sergio Lavanchy Merino

—Señora Silvana Cominetti, Presidenta del Instituto de Ingenieros de Chile. Señoras y señores directores del Instituto de Ingenieros de Chile. Señor Carlos Gauthier, Secretario General del Instituto. Familiares, amigos y amigas colegas presentes.

Deseo en primer lugar expresar un saludo a todos los presentes en esta solemne ceremonia, en especial a la Presidenta del Instituto de Ingenieros de Chile, Sra. Silvana Cominetti y agradecer la presencia de los integrantes del Directorio, de colegas, amigos, amigas y familiares que me acompañan en este día que tiene para mí un significado muy especial.

También agradezco la presentación que le ha correspondido realizar a mi colega y amigo José Rodríguez, con quien compartimos, como integrantes del Consejo de Rectores de las Universidades, muchas horas de reuniones y diversas actividades académicas en los períodos que nos correspondió ejercer el cargo de Rector en nuestras respectivas universidades.

Decía que para mí hoy es un día muy especial, ya que se materializa el acuerdo que adoptó el Directorio y Consejo Consultivo del Instituto, en Sesión de fecha 23 de agosto, de otorgarme el Premio “Medalla de Oro – Año 2023”, máximo galardón de la Ingeniería Chilena.

La distinción que hoy se me otorga la valoro enormemente por provenir de una Institución de larga tradición y prestigio en el ámbito de la ingeniería de nuestro país, cuyos aportes entregados en estudios, seminarios, propuestas y otras formas de contribución, han permitido la concreción y desarrollo de proyectos que han sido fundamentales para el progreso de nuestro país en las diferentes áreas que comprende la ingeniería; es por ello que agradezco al Instituto, a su Consejo Consultivo y Directorio, el honor al conferirme tan alta distinción.

Mi relación con la educación tecnológica comenzó a temprana edad, debido a que mis estudios de segundo grado

los realicé en la modalidad de enseñanza técnico profesional, modalidad que era impartida en aquellos años por la Universidad Técnica del Estado en sus diferentes sedes que mantenía a lo largo de todo el país; en mi caso en la Sede de Concepción, el primer ciclo correspondía al llamado Grado de Oficios, después del cual se rendía el bachillerato, requisito necesario para ingresar al Grado de Técnico Universitario con especialidad de tres años de duración, para finalmente cursar los tres últimos años de la carrera en la Escuela de Ingenieros Industriales en Santiago. Culmino así mis estudios universitarios el año 1967, recibiendo el título de Ingeniero Industrial, especialidad en Mecánica, el cual sería posteriormente homologado a Ingeniería Civil Mecánica. Quisiera recordar que, en aquellos años, de las siete universidades que existían en Chile, sólo dos formaban a sus ingenieros en la modalidad indicada, ellas eran la Universidad Técnica Federico Santa María y la Universidad Técnica del Estado, hoy Universidad de Santiago de Chile.

Terminados mis estudios, regreso a mi ciudad natal de Concepción, donde el año 1968 tuve la oportunidad de tener un contrato de trabajo en el Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC); sin embargo, en esos años la Universidad Técnica del Estado había establecido un convenio de cooperación con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Gobierno de Canadá, el que contemplaba tres grandes ejes que permitirían a la Universidad, modernización de sus laboratorios, formación de graduados en universidades canadienses y estadías de profesores de ese país en las diferentes sedes de la Universidad.

En este contexto, se me ofreció participar de este proyecto a través de un contrato de trabajo que, entre otras cosas, contemplaba realizar estudios de postgrado en alguna universidad canadiense. Ese fue el camino elegido y en septiembre del año 1970, viajaba a Canadá con mi esposa e hija Fanny de cuatro meses, que hoy me acompaña, lo que, para mí, a la edad de 27 años, era una aventura que marcaría mi futuro profesional.

Después de dos años de estudios en la Universidad de Toronto, obtuve el Grado de Magíster en Ciencias Aplicadas. En septiembre de 1972, por razones familiares tuvimos que regresar a Chile, no pudiendo completar la segunda etapa de otros dos años para la obtención del Grado de Doctor.

Así las cosas, puedo decir que mi carrera profesional se inicia en la Universidad Técnica del Estado el año 1968 y finaliza

formalmente el año 2018 en la Universidad de Concepción, al entregar el día 14 de mayo el cargo de Rector, después de ejercerlo durante 20 años, habiendo tenido el honor y privilegio de ser elegido por mis pares por cinco períodos consecutivos.

De esta forma, toda mi vida profesional estuvo ligada y comprometida con la Educación Superior de nuestro país. Sin embargo, este compromiso con la vida académica y la docencia en la formación de ingenieros, no fue impedimento para participar y desarrollar estudios y proyectos de ingeniería en el campo de mi especialidad.

Brevemente, quisiera compartir con ustedes dos experiencias profesionales en las que me correspondió desempeñarme como Jefe de Proyecto, ambas relacionadas con la Refinería de Petróleo PETROX, ubicada en Talcahuano, en la región del Biobío.

Esta refinería fue construida durante los años 1964 y 1965, en fecha posterior al terremoto del año 1960.

El año 1987, la gerencia de la empresa solicitó a la Facultad de Ingeniería realizar un estudio que contemplara un recálculo completo de todas sus torres de procesamiento y de los grandes estanques de almacenamiento de combustible, para verificar si estas instalaciones cumplían con las normas de la American Petroleum Institute, API-650, que había incorporado mayores exigencias para los cálculos sísmicos de este tipo de estructuras. Para estos efectos se formó un equipo de trabajo para elaborar los programas computacionales que nos permitieran realizar los cálculos estructurales de una gran cantidad y diversidad de estos equipos. El estudio permitió concluir que la planta cumplía las exigencias de las normas que habían sido actualizadas con posterioridad a su construcción. La prueba de fuego se tendría 23 años después del estudio, con la ocurrencia del terremoto del 27 de febrero de 2010. Todas las estructuras resistieron, sin producirse colapso en ninguna de ellas.

El segundo estudio también solicitado por PETROX a nuestra Facultad el año 1993, consistió en realizar el análisis de falla y determinar las causas del daño de la línea N° 2 del Terminal B, que la refinería tenía en la Bahía de San Vicente en Talcahuano, a través de la cual se realiza la descarga de crudo desde los buques tanque al terminal en tierra, utilizando una tubería sumergida de gran diámetro.



Sr. Sergio Lavanchy durante su discurso.

En la madrugada del sábado 6 de marzo de 1993, mientras un trabajador se encontraba realizando reparaciones con soldadura en una embarcación, se inicia por una chispa un incendio en la superficie del mar, el que se propaga rápidamente en gran parte de la bahía, produciéndose uno de los siniestros más destructivos y devastadores que haya ocurrido en puertos chilenos. La trágica muerte del trabajador y la destrucción de buques, naves pesqueras, terminales y muelles, pérdidas valoradas en 80 millones de dólares, unido al enorme daño ambiental ocasionado, obligó a iniciar una investigación que permitiera establecer las causas y responsabilidades del desastre.

Rápidamente se estableció que, durante la noche, la línea de descarga había tenido una fuga de una gran cantidad de crudo, el que cubrió gran parte de la superficie de la bahía.

Como era de esperar, inicialmente se apuntó como responsable directa a la empresa PETROX y se interpusieron demandas en los tribunales correspondientes.

Ante las más diversas especulaciones que atribuían la ruptura de la tubería a, por ejemplo, colapso por presión externa causada por una mala práctica en la operación de las bombas del terminal, inadecuado hundimiento de la tubería lo que habría producido grietas en el proceso de instalación, falla en los cordones de soldadura, por mencionar sólo algunas, es que la empresa solicitó al tribunal la designación como peritos adjuntos a profesionales de la Facultad de Ingeniería de nuestra Universidad, a objeto de determinar las causas reales que habían producido la falla en la tubería.

La responsabilidad era muy grande y fue necesario formar un equipo interdisciplinario de ingenieros mecánicos, metalúrgicos, especialistas en soldadura y análisis de falla.

Los estudios metalográficos y los cálculos de resistencia permitieron descartar, uno a uno, con fundamento técnico, las supuestas causas de la falla del oleoducto, concluyéndose que el daño había sido causado por un agente externo, probablemente por el arrastre del ancla de una embarcación. Esta hipótesis debía ser corroborada, lo cual efectivamente ocurrió cuando los equipos de buceo, no sin dificultades, finalmente encontraron en el fondo del mar un ancla perdida, lo que permitió demostrar que éste había sido el elemento causante del daño y la desviación experimentada por la tubería respecto a su trazado original; también fue identificada la embarcación responsable.

Por otra parte, de los 50 años de mi vida profesional, 20 fueron dedicados a ejercer el cargo de Rector de la Universidad de Concepción; sin lugar a dudas, el mayor desafío que me ha correspondido asumir en toda mi carrera.

La enorme responsabilidad de dirigir una Institución heredera de una gran tradición y prestigio, la tercera creada en el país y la primera en regiones, el año 1919, significó un cambio muy profundo en mi vida.

Hoy la Universidad de Concepción es una Institución con más de 25.000 alumnos de pre y postgrado, que desarrolla sus actividades académicas en sus tres Campus ubicados en las ciudades de Concepción, Chillán y Los Ángeles, contando además con un Instituto Profesional, con sedes en las mismas ciudades ya indicadas, y un Centro de Formación Técnica en Lota.

El trabajo realizado a través de los años por muchas generaciones de académicos, trabajadores universitarios de las diferentes áreas de administración y servicios y de los miles de estudiantes que han transitado por sus aulas, han permitido que la Universidad de Concepción siga cumpliendo los objetivos y sueños que tuvieron sus fundadores.

La ingeniería chilena y sus profesionales han realizado a través del tiempo aportes significativos al desarrollo y modernización de nuestro país. Desde sus mismos inicios con sus especialidades más antiguas y tradicionales, como son la Ingeniería Civil, en Minas, Química, Mecánica o Eléctrica. Con el tiempo, ante nuevos requerimientos y

nuevas tecnologías, se crearon otras carreras como Ingeniería Metalúrgica, Industrial, Informática o Electrónica, por solo mencionar algunas de ellas, y en los últimos años carreras de nueva generación como Ingeniería en Materiales, Telecomunicaciones o Biomédica; esta última en particular fue creada en nuestra Universidad el año 2005, describiéndose al Ingeniero Civil Biomédico como un profesional con conocimientos avanzados en equipamiento médico, en bioingeniería clínica y en el desarrollo de informática médica, con capacidades para ejecutar proyectos de ingeniería aplicados a la medicina y la biología.

En el reciente documento editado por el Instituto, “Prospectivas de la Ingeniería Chilena”, elaborado por la Comisión Prospectivas de la Ingeniería 2022, se establece que esta carrera será reconocida como una especialidad relevante de la ingeniería.

Por la importancia e impacto que tuvieron en su época en nuestro país, quisiera referirme a dos aportes trascendentales de la ingeniería y que creo pertinente recordar en un día como hoy.

A consecuencia del gran terremoto del año 1960, se produjeron grandes deslizamientos de tierra que bloquearon el desagüe natural del Lago Riñihue. Se llevó a cabo entonces, la obra de ingeniería de emergencia más grande efectuada en el país para controlar el desborde de las aguas y evitar una avalancha que arrasaría con pueblos aledaños y parte de la ciudad de Valdivia. Las obras estuvieron lideradas por el destacado Ingeniero don Raúl Sáez, Medalla de Oro del Instituto de Ingenieros 1962.

El otro corresponde a la nacionalización del cobre, en el año 1971, que produjo entre otras dificultades que debía enfrentar el país en este nuevo escenario, fue el éxodo de directivos y profesionales norteamericanos, llevándose consigo los conocimientos y la experiencia adquirida en la operación de plantas mineras. Les correspondió entonces a los ingenieros y técnicos nacionales el desafío de continuar con la operación de los procesos que involucra esta compleja actividad productiva. Es destacable la capacidad técnica de los ingenieros de esos años, lo que permitió que se desarrollara un nuevo reactor, conocido como Convertidor Teniente, capaz de convertir concentrado de cobre a metal blanco en un solo equipo y sin aporte de energía externa. Patentado en el año 1977, esta tecnología se exportó en los años siguientes a países de América del Sur, América del Norte, África y Asia.

La ingeniería, ya sea a nivel global o local, estará enfrentando nuevos desafíos y junto a los avances científicos y tecnológicos sobre los que deberá sustentarse, permitirá generar soluciones prácticas y viables a los diferentes problemas para así mejorar las condiciones de vida de las personas, que es el fin último.

Sobre esto existe abundante información contenida en documentos generados por diversas instituciones y es materia de análisis en foros y seminarios. Los desafíos abordan diferentes áreas temáticas, como son la generación eficiente de energías no convencionales, como la solar y eólica y su almacenamiento, la optimización de los recursos hídricos, especialmente en la minería y la agricultura, grandes demandantes de este elemento, la robótica y su aplicación a procesos industriales y a la medicina, y últimamente la inteligencia artificial, por sólo mencionar algunos ejemplos.

Sobre esta materia, el Instituto de Ingenieros ha hecho valiosos aportes, siendo el último de ellos “Prospectivas de la Ingeniería Chilena”, que mencioné previamente. En él se indica que se encuentran en proceso de actualización las Normas Chilenas referidas a: “Diseño Sísmico de Edificios”, “Diseño Sísmico de Edificios e Instalaciones Industriales” y “Análisis y Diseño de Edificios con Aislación Sísmica”, los que recogen las lecciones aprendidas en el terremoto del 27 de febrero de 2010. Menciono esto, ya que sin lugar a dudas éste es un desafío muy importante para los ingenieros estructurales. La ingeniería antisísmica y las respectivas normas de diseño han tenido avances significativos. Esto se pudo comprobar en el terremoto del 2010, ya que en Concepción donde existe gran cantidad de edificios en altura, sólo uno de ellos colapsó en forma catastrófica, varios otros tuvieron daños estructurales de importancia, lo que obligó a su demolición; sin embargo, ellos cumplieron con el objetivo de resguardar la vida de sus moradores. Esta rama de la ingeniería y su aporte continuará siendo fundamental en un país altamente sísmico como el nuestro.

Finalmente quisiera referirme a algunos de los desafíos que se presentan en la formación de las futuras generaciones de ingenieros.

En los últimos veinte años se ha llevado a cabo el proceso de acortamiento de la duración de las carreras de ingeniería y en la actualidad el 87 % de ellas ya efectuó esta reducción, de las cuales un 62 % lo hizo a once semestres y un 25 %

a diez semestres. Para el año 2025 la proyección es que ya no habrá carreras de doce semestres. Sin embargo, el problema grave que aún permanece es el de los bajos índices de titulación oportuna, lo que se traduce en una duración real excesiva de las carreras, la que en la mayoría de los casos se sitúa entre los ocho y los nueve años. Pese a los importantes recursos que se han invertido a través de los proyectos Mecesus y de Ingeniería 2030, los avances logrados son escasos. Este problema incide directamente en el desarrollo de los programas de postgrado en ingeniería, ya que los jóvenes al titularse a una edad más avanzada tienen menos incentivos para continuar con estudios de postgrado. Esta situación es grave considerando que el desarrollo del país y la solución a los complejos problemas que enfrenta la sociedad, requiere cada vez más ingenieros con mayor grado de especialización.

En otro orden de cosas, en el país se han creado distintos instrumentos para implementar y mejorar el equipamiento científico de los laboratorios de investigación; de esta forma la mayoría de las casas de estudio ha logrado contar con una muy buena infraestructura en diversas áreas del quehacer científico. Sin embargo, el equipamiento de los laboratorios de docencia en general es deficitario, lo que incide en la calidad de la formación de los ingenieros.

Los desafíos que está enfrentando nuestra civilización en la actualidad, tales como los Objetivos de Desarrollo Sostenibles, y las soluciones para enfrentar el cambio climático, exigirán de manera creciente una mayor cantidad de ingenieros de todas las especialidades. En Chile actualmente existe un ingeniero cada 3.900 habitantes, lo que representa aproximadamente la mitad del mismo índice de países de Europa. Para mejorar ese indicador, es relevante aumentar los índices de la retención académica, particularmente en los primeros años de las carreras. En este ámbito, los avances igualmente han sido escasos.

Para finalizar, deseo reiterar mis agradecimientos al Instituto de Ingenieros por esta distinción que me enorgullece y a todos los presentes en esta ceremonia.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Fin de la ceremonia.

PREMIO “AL INGENIERO POR ACCIONES DISTINGUIDAS – AÑO 2023”

Al Ingeniero Sr. Leonardo Basso Sotz



Don Leonardo Basso, recibe el premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas – Año 2023”.

El pasado 26 de octubre de 2023 se realizó en el Salón de Actos del Instituto de Ingenieros, con la asistencia de personalidades del mundo académico y privado, la ceremonia solemne de entrega del premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas – Año 2023”, que este año recayó en el Ingeniero Sr. Leonardo Basso Sotz.

La Presidenta del Instituto, Sra. Silvana Cominetti Cotti-Cometti, inició la ceremonia con una breve intervención relativa al significado de este premio, y explicó el especial merecimiento del galardonado de este año.

En seguida, siguiendo la tradición, el Ingeniero Sr. Hernán de Solminihac T., quien recibiera este Premio el año 2021, realizó una síntesis de los aspectos más destacados de estas acciones distinguidas que lo hicieron merecedor del premio.

La Presidenta

—Muy buenos días.

Sr. Leonardo Basso Sotz, Premio Al Ingeniero por Acciones Distinguidas, año 2023. Sr. Hernán de Solminihac, distinguido con el premio “Al Ingeniero por Acciones distinguidas 2021”. Sr. Patricio Aceituno, distinguido con el premio “Raúl Devés Jullian año 2023”. Sr. Juan Carlos de la Llera, premio “Raúl Devés Jullian año 2021”. Familiares y amigos de los galardonados.

Señores Directores, Socios del Instituto. Señoras y señores.

El día de hoy el Instituto de Ingenieros de Chile realiza esta ceremonia, con el objeto de entregar los premios “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas” y “Raúl Devés Jullian”, correspondientes al año 2023.

El Premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas”, que se otorga desde 1984, este año ha recaído en don Leonardo Basso Sotz cuyos atributos personales y profesionales serán dados a conocer a ustedes por quien recibió este galardón el año 2021, don Hernán de Solminihac.

Siempre nos parece relevante informar a ustedes los objetivos de esta distinción y los motivos que se invocan para otorgarla. Señala el reglamento que el Premio se otorgará al Ingeniero que se hubiere distinguido por haber desarrollado acciones, en el campo público y/o privado, durante los tres años anteriores a los de su otorgamiento y para estos efectos, se consideran como acciones distinguidas aquellas que excedan el desempeño normal y eficiente de las labores habituales del ingeniero y que redundan en un beneficio evidente para el país, la sociedad, la profesión o el Instituto. Dichas acciones pueden consistir, a modo de ejemplo, en la dirección de una obra de ingeniería relevante en el ámbito nacional, o la implementación de un proyecto tecnológico importante, o el impulso de una iniciativa de servicio público que impacte al país, o el particular realce que haya alcanzado en el país la labor normal que dicho ingeniero realice.

La lista de galardonados es ya larga y está constituida por algunos de los ingenieros más brillantes de nuestro país. Este año el Premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas”, le fue otorgado a don Leonardo Basso, quien, con su trabajo, como ustedes escucharán más adelante, sin lugar a duda

realizó una contribución a la ingeniería nacional y al país, lo que lo hace merecedor de la distinción con la que hoy lo homenajeamos.

Extiendo mi más calurosa felicitación a Leonardo y su familia.

Sr. Hernán de Solminihac

—Muy buenos días. Estimada Presidenta Silvana Cominetti, honorables miembros del Instituto de Ingenieros de Chile. Estimado Leonardo, distinguidos invitados, colegas, amigos y amigas,

Es para mí un privilegio y un honor estar aquí hoy, en esta ceremonia tan significativa, para rendir homenaje al ingeniero civil Leonardo Basso Sotz, cuyo trabajo ha dejado una marca imborrable en nuestra comunidad y en el mundo.

Antes de referirme a premiado, permítanme un comentario personal.

Es muy emocionante para mí presentar hoy al ganador del premio de este año, ya que el 14 de octubre del 2021 cuando recibí este premio junto a familiares, colegas y amigos; estaba mi señora, que desgraciadamente dos semanas después, justo un día como hoy, pero hace dos años, falleció de pena por la enfermedad de nuestra hija mayor.

Me es, además, muy significativo, ya que el ganador del premio 2022 fue nuestro amigo y colega, Juan Pablo Covarrubias, desgraciadamente también falleció poco antes de que le entregáramos el reconocimiento a sus familiares.

El premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas año 2023” es un reconocimiento merecido para una persona cuyo compromiso y dedicación han llevado a acciones que van más allá de nuestra vida diaria.

Quiero comenzar expresando mi profundo agradecimiento al Instituto de Ingenieros de Chile por la invitación a compartir estas palabras. como mencioné anteriormente, en el año 2021, tuve la fortuna de ser reconocido con este mismo premio y ahora me complace profundamente estar aquí nuevamente para celebrar y honrar a un colega, que ha llevado su compromiso con la ingeniería y su impacto en la sociedad a niveles verdaderamente extraordinarios.



Sra. Silvana Cominetti, junto a don Leonardo Basso, premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas –Año 2023” y don Hernán de Solminihac T., premio “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas – Año 2021”.

Leonardo Basso no solo es un ingeniero civil destacado, sino también un innovador, cuyo impacto en la salud de nuestro país, a través del liderazgo de proyectos significativos, es innegable.

Sin embargo, su contribución va más allá de los avances tecnológicos, ya que también ha demostrado ser un líder en la forma de abordar la crisis sanitaria. Su visión y determinación para enfrentar la contingencia sanitaria que golpeó al mundo, es un ejemplo inspirador para todos nosotros.

La trayectoria profesional de Leonardo Basso es un testimonio de su inmenso talento y dedicación. Desde sus inicios, ha demostrado una habilidad extraordinaria para innovar y liderar. A pesar de los éxitos evidentes, nunca ha perdido de vista el objetivo principal, el bienestar de nuestra población.

Como Ingeniero Civil y Magister en Ingeniería de Transporte de la Universidad de Chile y Doctor en Economía y Políticas de Transporte de la Universidad de British Columbia,

este Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y Director del Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI) de la misma universidad, ha demostrado una capacidad única para reunir a los mejores talentos en economía e ingeniería, generando soluciones creativas para problemas de alto impacto en el bienestar social.

El año pasado, el equipo liderado por Leonardo recibió el prestigioso Premio Franz Edelman 2022 por sus logros en análisis avanzado, investigación operativa y ciencia administrativa para mejorar la gestión de la pandemia. Este galardón no solo honra a Leonardo, sino que también reconoce el esfuerzo de su equipo, quienes llevaron a cabo un trabajo sin precedentes, que salvó la vida de unas tres mil personas, marcando un hito en la lucha contra la pandemia del Covid-19.

La crisis global de la Covid-19 nos desafió a todos, pero Leonardo Basso y su equipo no solo vieron la necesidad de ayudar, sino que también identificaron cómo hacerlo a través del análisis y la innovación.

Su capacidad de liderazgo, al reunir a miembros del Gobierno, trabajadores de la salud y profesionales médicos y de la ingeniería para colaborar en la búsqueda de soluciones, fue impresionante. Logró el compromiso del sector público sobre la utilidad de las herramientas de análisis que él y su equipo habían desarrollado, dando paso a una colaboración verdaderamente innovadora, que tuvo un impacto significativo en la lucha contra la pandemia.

Pero, el impacto de Leonardo no se limitó a resolver problemas críticos durante la gestión de la pandemia. El equipo que lideró también se esforzó por proporcionar transparencia y acceso a la información mediante plataformas públicas. Esto permitió a la población, en general, comprender mejor la situación y contribuyó a la toma de decisiones informadas.

Detrás de cada logro, él siempre ha destacado a su equipo, integrado por jóvenes talentosos que dedicaron horas incansables, algunos incluso posponiendo sus estudios para contribuir a esta noble causa.

Leonardo Basso, quien además es miembro de la Academia Chilena de Ciencias y coeditor de la Revista de la Asociación Internacional de Economía del Transporte, entre otras tantas funciones, es un modelo de talento, dedicación y resiliencia. Es el ejemplo viviente de un ingeniero comprometido con la construcción de un país mejor, trabajando de manera colaborativa y desinteresada.

Quiero felicitar sinceramente a Leonardo por este merecido reconocimiento y agradecerle por su inquebrantable contribución al campo de la ingeniería y al bienestar de nuestra sociedad.

Muchas gracias y felicitaciones Leonardo.

(Aplausos).

A continuación, el Ingeniero Sr. Leonardo Basso Sotz recibió de manos de la Sra. Cominetti, Presidenta del Instituto, la Medalla Recordatoria y el Diploma de Honor. Enseguida, el Sr. Basso agradeció la distinción en los siguientes términos.

Sr. Leonardo Basso Sotz

—Presidenta del Instituto de Ingenieros de Chile, Silvana Cominetti; Rectora de la Universidad de Chile, Rosa Devés; Presidenta de la Academia Chilena de Ciencias, Cecilia Hidalgo, Decano de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, Miguel O’Ryan, Directora del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile, Susana Mondschein; estimados colegas y amigos, querida familia, muy buenos días. Estoy agradecido y emocionado de que me acompañen en tan importante ocasión.

Quisiera comenzar felicitando al ingeniero Hernán de Solminihaq por su premio de 2021 y agradecerle la presentación que de mí hizo. Quiero también saludar y felicitar muy afectuosamente a mi amigo el ex decano Patricio Aceituno por recibir el premio Raúl Devés.

Y, por cierto, en nombre de mi familia, de la Universidad de Chile y del Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), quiero agradecer al Instituto de Ingenieros, a su Directorio y Consejo Consultivo por otorgarme este premio. Me siento sumamente honrado tanto por el galardón como por la tan prestigiosa compañía en la que estaré, entre otros la de uno de mis mentores, Andrés Weintraub.

Este premio, que se otorga por “Acciones Distinguidas” a las que me referiré en breve, es un reconocimiento que tomo con mucha humildad porque estas acciones están lejos de ser sólo mías: fueron las de un equipo grande de ingenieros, médicos, enfermeras, geógrafos y periodistas, equipo que tuve el orgullo de dirigir, para trabajar de manera mancomunada con autoridades de Gobierno y con la empresa privada, muy particularmente con Entel Ocean, con un objetivo sencillo de describir, pero desafiante como pocos: que ingeniería innovadora pudiese ser aplicada en terreno para ayudar a minimizar los daños de la pandemia del Covid-19.

Comencé a dirigir ISCI, recibido de las manos de Andrés Weintraub, el 1 de octubre de 2018.

Mis primeras medidas fueron cancelar cuánto evento internacional estábamos preparando. Pero luego sobrevino la pandemia. Y tomamos una decisión: reorientar capacidades, conocimientos y recursos a la crisis COVID, para colaborar directamente con la primera línea de la salud y los tomadores de decisiones. Decidimos —en el tiempo— tratar

de impulsar iniciativas que aportaran a cada uno de los elementos necesarios para contener la crisis: control de contagios, infraestructura crítica, y luego vacunación.

Tuvimos claridad, desde un comienzo, que las iniciativas servirían en la medida de que trabajáramos colaborativamente con quiénes estaban a cargo de la toma de decisiones y de ejecutar. Y decidimos también trabajar con los datos que hubiera disponible en cada momento, haciendo un esfuerzo por levantar nosotros mismos otros que fueran necesarios, para lo cual la búsqueda de socios resultaba vital. Habíamos decidido muy tempranamente abstraernos de las polémicas y de la “política pública” *vía twitter*, de manera de que nuestro mensaje científico no se viera nublado.

Las innovaciones que generamos y que se utilizaron en aspectos claves de decisión, ayudaron a dar forma a una estrategia integral contra el virus. Las herramientas desarrolladas ayudaron a:

- Arrojar luz sobre los efectos reales de las cuarentenas en diferentes municipios y regiones a lo largo del tiempo, gracias a la transformación de la información de conexiones de celulares a las antenas, en información agregada y anonimizada de movilidad. Esto fue posible gracias a una innovadora alianza que se forjó entre ISCI y Entel para hacer investigación en geointeligencia territorial en el marco de la pandemia, elemento clave en dos otras iniciativas.
- También ayudamos a enfocar de mejor manera los esfuerzos para incrementar y asignar la limitada capacidad de camas de cuidados intensivo, mediante modelos predictivos que indicaban a la autoridad cuántas camas adicionales se necesitarían a una y dos semanas, región por región.
- Contribuimos a aumentar significativamente la capacidad de testeo PCR mediante técnicas de testeo grupal y proporcionarnos estrategias en terreno para la búsqueda activa de casos asintomáticos, lo que se logró integrando datos epidemiológicos con los de movilidad.
- E implementamos un programa de alcance nacional de vigilancia serológica —del anticuerpo IgG anti-sars-cov-2—, que proporcionó información de terreno de relevancia mundial respecto de la eficacia de las vacunas, en particular de Sinovac, influyendo significativamente en la decisión de Chile respecto a las dosis de refuerzo de la vacuna.



Sr. Leonardo Basso, durante su discurso.

El trabajo desarrollado fue innovador y algunas de sus componentes únicas en el mundo, cómo fue el caso de la búsqueda activa de casos y la vigilancia serológica. Ello permitió traernos a Chile el Premio FRANZ EDELMAN 2022, el premio más importante otorgado a proyectos de ingeniería aplicada en el mundo, y que llevó, una vez más, a la ingeniería chilena al foco mundial.

Pero, habiendo transcurrido ya varios meses desde los momentos más críticos de la pandemia, después de todo hasta la alerta sanitaria ha sido levantada, quisiera ahora reflexionar respecto de algunas lecciones que estos tres años nos han dejado.

Primero, quiero enfatizar que cuando los esfuerzos se hacen coordinadamente entre la Academia, el sector público y el sector privado, se pueden generar fuerzas transformadoras. Por cierto, no es fácil, pero muchas veces las trabas son más de carácter ideológico, o ancladas en desconfianzas que deben ser superadas, que nada. De hecho, respecto de este punto, en Houston, en la competencia por el Edelman, uno de los jurados nos preguntó por “cómo se dio este milagro chileno”. De alguna manera, confluyeron tres aspectos que resultaron ser centrales. Primero, hubo una academia que se bajó del pedestal generador sólo de artículos científicos para preguntar directamente qué es lo que era necesario en qué podíamos ayudar. Segundo, hubo un sector público que, pese a estar contra las cuerdas, escuchó y se atrevió a

innovar. Y tercero, hubo un sector privado —y me refiero especialmente a Entel— que decidió a ir más allá del mero cálculo de las ganancias y que fue valiente quizás *más allá de lo esperable porque* ¿qué necesidad tenía Entel, post estallido social, de colaborar en algo que suena tan parecido al “Gran Hermano te vigila”? Fue un riesgo que tomaron y del que debemos estar agradecidos.

Es importante señalar también que la interdisciplina fue otra fuerza vital. En este proyecto interactuamos desde la ingeniería con la infectología, la epidemiología y la geografía. Trabajamos codo a codo con periodistas para poder comunicar mejor información compleja de manera sencilla. Aprendimos y enseñamos. Hoy, el potencial que la ingeniería tiene en el área de la salud en Chile es más claro que antes; nos permitió colaborar con ingeniería, por ejemplo, en la durísima campaña de invierno recién terminada.

Y otro aspecto que quisiera destacar, es que no todo es milagro y sincronía. Hay cosas que estábamos haciendo como país desde antes, y que rindieron frutos cuando se necesitaron. En particular, el plan de centros de excelencia en investigación, que llevaba ya varias décadas implementándose, permitió que, por dar dos ejemplos, el Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería y el Instituto Milenio de Inmunología existiesen y pudiesen ponerse a trabajar rápidamente. O, en el sector privado, la visión de futuro de Entel permitió que existiera el grupo Kamal, que fue pivote para desarrollar las iniciativas relacionadas a movilidad.

Todas estas lecciones que nos dejó la pandemia deben ser recogidas e incorporadas. En particular la educación en ingeniería debe enfatizarlas para que se conviertan en práctica común; triple hélice e interdisciplina para un mejor Chile.

Permítanme, por último, cerrar con agradecimientos adicionales, pero esta vez a otras personas, que son también artífices de las acciones distinguidas premiadas. Personas que de manera más o menos anónima, fueron esenciales para que aquello que realizamos en los últimos tres años se hiciera carne. Quiero agradecer muy sentidamente a los Doctores Miguel O’Ryan, Juan Pablo Torres y Emilio Satelices, de la Facultad de Medicina, a las exautoridades Paula Daza, Alberto Dougnac y Andrés Couve, a muchísimas personas en el MINSAL pero muy particularmente a Marcela Zúñiga. A Julio Covarrubias y Marcela Pastor de Entel. Y a los colegas de la Universidad de Chile y de ISCI, los ingenieros Marcel Goic, Marcelo Olivares, Charles Thraves y al gran Denis Sauré. A todos ustedes, gracias, por su esfuerzo, por su entrega y por dar un paso al frente de manera tan generosa. Lloramos hoy la ausencia de 60.000 de los nuestros. Pero gracias a ustedes, hay miles de padres, madres, tíos, hermanos y abuelos que están a salvo con sus familias.

Y a mi familia, a Su y a nuestros hijos Vicente, Amelia, Martina, Tomás y Jacinta: gracias por tanto apoyo y gracias por tanta paciencia. No fueron años sencillos, lo sé; el trabajo era mucho, importante y urgente, y con certeza se llevó por delante espacios familiares, cambiando risas por estrés y juegos por desvelo. No hubiéramos podido hacer lo que hicimos sin nuestras familias, yo no hubiese podido sin ustedes.

Señora Presidenta, queridos amigos, familia y colegas, muchas gracias.

(Aplausos).

Fin de la ceremonia.

PREMIO “RAÚL DEVÉS JULLIAN – AÑO 2023”

Al Ingeniero Sr. Patricio Aceituno Gutiérrez



Don Patricio Aceituno, recibe el premio “Raúl Devés Jullian – Año 2023”.

El jueves 26 de octubre de 2023, en el Salón de Honor del Instituto de Ingenieros de Chile, tuvo lugar la ceremonia de entrega del Premio “Raúl Devés Jullian - Año 2023” al distinguido Ingeniero don Patricio Aceituno Gutiérrez.

La Presidenta del Instituto, Sra. Silvana Cominetti, dio comienzo a la ceremonia con una breve intervención aludiendo a la naturaleza del premio, su significado dentro del Instituto y en la comunidad de los ingenieros, y el especial merecimiento de don Patricio Aceituno Gutiérrez.

A continuación, de acuerdo con lo que es tradicional, la presentación del galardonado estuvo a cargo del Sr. Juan Carlos de la Llera, quien obtuvo este premio el año 2021.

La Presidenta

—Sr. Leonardo Basso Sotz, Premio Al Ingeniero por Acciones Distinguidas, año 2023. Sr. Hernán de Solminihac, distinguido con el premio “Al Ingeniero por Acciones distinguidas 2021”. Sr. Patricio Aceituno, distinguido con el premio Raúl Devés Jullian año 2023. Sr. Juan Carlos de la Llera, premio Raúl Devés Jullian año 2021. Familiares y amigos de los galardonados.

Señores Directores, Socios del Instituto. Señoras y señores.

El día de hoy el Instituto de Ingenieros de Chile realiza esta ceremonia, con el objeto de entregar los premios “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas y Raúl Devés Jullian”, correspondientes al año 2023.

El premio “Raúl Devés Jullian”, se otorga cada dos años al ingeniero chileno que se haya destacado por su esfuerzo y trabajo en la enseñanza de la Ingeniería en Chile, y fue instituido en el año 1997 para honrar la memoria de ese destacadísimo hombre público e ingeniero, don Raúl Devés Jullian, Medalla de Oro de nuestro Instituto y miembro de su Consejo Consultivo, quien fuera distinguido Decano de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile y se destacara por su extraordinario espíritu innovador y liderazgo en el campo de la enseñanza de la ingeniería. Fue impulsor de una de las iniciativas de mayor trascendencia emprendidas en el país con el propósito de modernizar y desarrollar la enseñanza de la ingeniería, las que fueron determinantes para elevar la calidad de la enseñanza que se exhibe hoy en día en la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Dicha labor la realizó con su natural sencillez expresando: “mi dedicación a la Universidad Católica viene de mi agradecimiento profundo por los valores y herramientas que me entregó”.

Todo lo anterior fue realizado en forma paralela a una importante actividad profesional y empresarial en el campo de la construcción.

De esta forma, don Raúl fue una persona que desplegó un poderoso dinamismo empresarial y docente, el que nunca conspiró contra sus nobles sentimientos de amor al prójimo y su gran sentido de sensibilidad social. Hoy, con ocasión de la entrega del premio que lleva su nombre, el

Instituto de Ingenieros de Chile le rinde una vez más un sentido homenaje.

Para otorgar este premio, el Directorio del Instituto designa una Comisión conforme a los estatutos del premio, la cual se encarga de estudiar los antecedentes de los postulantes propuestos por los socios del Instituto, y entrega una nómina de no menos de tres y no más de cinco candidatos, los que somete posteriormente a la consideración del Directorio y del Consejo Consultivo de la Corporación que, reunidos en sesión solemne y votación secreta, disciernen la persona del premiado.

El premio “Raúl Devés Jullian” de este año, ha recaído en la persona de Patricio Aceituno Gutiérrez, Ingeniero Civil de la Universidad de Chile. Su presentación, como es nuestra tradición, estará a cargo del galardonado con el premio en la versión anterior, don Juan Carlos de la Llera Martín, quienes ya se han sumado a los sobresalientes antecesores en este premio y que se encuentran mencionados en uno de los paneles que ustedes pueden apreciar adelante. Todos ellos, ingenieros que comenzaron a construir el prestigio que esta distinción está alcanzando en el campo de la enseñanza de ingeniería.

Extiendo mi más calurosa felicitación a Patricio y su familia.

Muchas gracias.

A continuación, la presentación del galardonado la efectuó el Ingeniero Sr. Juan Carlos de la Llera, premio Raúl Devés Jullian, año 2021.

Sr. Juan Carlos de la Llera

—Tengo el honor de presentar brevemente esta mañana, en esta distinguida ceremonia y audiencia, al profesor titular, exdecano, y Profesor Emérito de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Dr. Patricio Aceituno Gutiérrez, quien ha sido galardonado con el premio Raúl Devés Jullian 2023 otorgado por el Instituto de Ingenieros de Chile.

Patricio y yo nos conocemos; coincidimos ambos como decanos entre 2014 y 2018, pero no lo suficiente como para poder escribir estas palabras sin recurrir a su biografía y a quiénes mejor lo conocen. Sin embargo, hice la tarea y

luego de haber revisado su trayectoria académica en la Universidad de Chile como preparación a esta breve presentación de su persona, no tengo sino palabras de elogio y reconocimiento muy sincero para él por su muy destacada trayectoria académica, que lo hace más que merecedor de este hermoso reconocimiento que lleva el nombre de un ingeniero y exdecano tan destacado, pero por sobre todo, de un ser humano de tomo y lomo que nos iluminó e inspiró a tantos, como es Don Raúl Devés Jullian.

Patricio nació en Santiago, y es ingeniero civil electricista de la Universidad de Chile desde 1974. Cambió de rumbo y obtuvo su doctorado en Meteorología en la Universidad de Wisconsin, Madison en 1987. Ha estado siempre vinculado académicamente a la Universidad de Chile y llegó a hacer Profesor Titular en el año 2003 y Profesor Emérito del Departamento de Geofísica en el 2019. Fue Director de la Escuela de Postgrado de la Facultad entre los años 2002 y 2006, Vicedecano entre 2006 y 2010, Vicerrector de Asuntos Académicos de la universidad entre 2010 y 2014 y Decano de la Facultad entre 2014 y 2018, donde tuve la oportunidad de compartir con él en algunas instancias comunes.

Como ya se ha mencionado, el Premio Raúl Devés Jullian, “se otorga por el Instituto de Ingenieros de Chile y tiene por objeto resaltar a una persona que represente los valores en el campo de la enseñanza de la ingeniería, de quien fuera distinguido Decano de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Medalla de Oro y miembro del Consejo Consultivo del Instituto de Ingenieros de Chile”. Debo confesarles que no conocí personalmente a Don Raúl, solo lo hice con bastante detalle a través de su muy querido amigo, una persona maravillosa, como fue el ingeniero Arnoldo Hax que partió ya hace algunos meses, y a quien aprovecho de reconocer también en estas palabras por nuestra hermosa amistad.

Entre sus múltiples cualidades académicas, Patricio ha sido reconocido como un académico con una profunda vocación por la docencia, contribuyendo mucho más allá de su disciplina, a la cual ya me referiré, a la formación de decenas de generaciones de ingenieros(as) jóvenes realizando docencia en el Plan Común de la carrera donde ha dictado desde 1988 el otrora “temido” curso obligatorio de Mecánica (FI2001), o Mecánica Racional para hacerle honor al Alma Mater de Don Raúl, o Mecánica Clásica hoy en otras universidades. Un curso, que por, sobre todo, enseña a los estudiantes por primera vez a pensar y conectar

la física, la realidad, con el modelamiento matemático. Me tomo de las palabras de otro exdecano de la Facultad, el Dr. Francisco Brieva que lo describe de esta manera: “El Prof. Aceituno es el formador que ha convertido la enseñanza de los fundamentos de la ingeniería en un arte: rigurosidad, originalidad, historia y futuro, se han mezclado por años para dar inicio a cientos de estudiantes por el camino de las ingenierías y de las ciencias”.

Pero la contribución de Patricio al ámbito de la enseñanza no solo se remite a su extraordinaria labor en el aula. Durante su periodo como Decano impulsó el rediseño de las mallas curriculares de las carreras de ingeniería y geología, para acortar su duración a 11 semestres. Un aspecto que por años ha estado en el debate nacional como un tema prioritario. Incluso ahora, en su posición de Profesor Emérito, su compromiso con la docencia sigue siendo algo muy relevante para él, ya que pese a haberse acogido a retiro, ha continuado ejerciendo la docencia en el curso de Mecánica, y siempre con muy destacadas evaluaciones docentes. Ha organizado también un proyecto de ciencia ciudadana para medir los efectos topográficos sobre la distribución de la precipitación en la Región Metropolitana, y participado en diversas actividades destinadas a rescatar la historia de la Facultad. En palabras del decano Brieva: “El Prof. Aceituno sobresale en esta tarea, en una arista a menudo olvidada por los gestores del cambio. Me refiero al papel que ha jugado, desde la sala de clases, en instalar el eslabón primario que el estudiante aprende para luego seguir la cadena de eventos conducentes a su formación ingenieril. Instalar el gusto por la ingeniería es una tarea mayor. No hay plan de estudio que inspire, ni laboratorio que impresione, ni una amplitud de tecnologías que atraigan, cuando falla la sensibilidad por lo abstracto o la inteligencia para modelar el fenómeno o el criterio para entender la disciplina en el contexto social que se desarrolla”.

Para abundar aún más en sus cualidades, el actual decano Martínez describe al profesor Aceituno como uno que “ha demostrado un gran interés en orientar a los estudiantes del Plan Común en la elección de su carrera profesional entre las diferentes opciones que ofrece la Escuela de Ingeniería y Ciencias. A este respecto, ha incorporado prácticas innovadoras en su docencia. Sus clases son conocidas y muy valoradas por los estudiantes, ya que culminan con la participación de profesores invitados de diversas áreas de la ingeniería y las ciencias. Estos expertos exponen los contenidos y desafíos de los programas de formación profesional



Sra. Silvana Cominetti Cotti-Cometti y la Sra. Rosita Devés Alessandri en compañía de los Sres. Juan Carlos de la Llera Martín, premio “Raúl Devés Jullian – Año 2021” y don Patricio Aceituno Gutiérrez, premio “Raúl Devés Jullian – Año 2023”.

de las distintas especialidades en breves presentaciones de 20 minutos. La verdadera pasión que demuestra el profesor Aceituno en su labor académica ha sido un ejemplo para sus pares. El respeto y admiración que nuestra comunidad le ha demostrado se debe a que reúne extraordinarias cualidades para la investigación y la docencia, como la curiosidad, la perseverancia y la dedicación al estudio de un variadísimo espectro de temas, a las cuales se suman cualidades humanas sobresalientes, como la empatía y la solidaridad. En la labor académica, esta conjunción de aptitudes lo ha transformado en un profesor querido y seguido por muchas generaciones de estudiantes”. Hay poco más que agregar, pero un aspecto que me llamó profundamente la atención y que quisiera resaltar es su participación como Tutor del Taller 2 Relojes, diseñado para estudiantes repitentes del curso de Mecánica, lo que sin duda refuerza el hecho de su tremendo compromiso y cariño por el aprendizaje de sus estudiantes.

Si bien no es el foco hoy de su premio, en su carrera como investigador, el profesor Aceituno ha contribuido significativamente a la comprensión de los procesos que explican la variabilidad climática en Chile y en América del Sur y en particular de los impactos de los fenómenos El Niño y La Niña en diferentes sectores productivos y de servicios. Su productividad científica en el área es vasta, y nada mejor para establecer este punto que el reconocimiento internacional que obtuvo con la medalla Alexander von Humboldt entregada por la Unión Europea de Geociencias en el año 2006. Para quienes no lo sepan, este es un reconocimiento que ha sido obtenido por muy pocos académicos chilenos en nuestra historia. Todo este conocimiento se ha transferido también hacia la enseñanza de cursos de pregrado en Introducción a la Meteorología y de postgrado en Métodos Climatológicos, Meteorología Dinámica, y Climatologías I y II, y un sinnúmero de otras actividades docentes como seminarios y cursos invitados

en su ámbito de experticia. Esto se suma a las numerosas tesis guiadas de pre y postgrado.

En su quehacer de extensión que es también extenso, me tomo de las palabras del ingeniero Sr. José Orlandini, quien en su carta de apoyo al Dr. Aceituno menciona que “... quisiera complementar además con la mirada desde la industria. Durante el periodo en el que el Profesor Patricio Aceituno fue Decano de la Facultad, se fundó la iniciativa Open Beaucheff, que ha sido un cambio drástico en la Universidad, permitiéndole vincularse a las empresas, y, a través del apoyo a startups ha generado un conocimiento y una red de relacionamiento con empresas externas que generan valor a la Universidad, generan valor para las Empresas que participan, y principalmente generan un valor para Chile al vincular en forma efectiva Universidad, Ingenieros y Empresas”.

No me cabe duda que, en esta labor de vinculación de la universidad con el sector productivo, el Dr. Aceituno siempre vio la importancia que podría tener para los estudiantes. Una de las mayores oportunidades que una colaboración efectiva entre universidad e industria genera, se traduce en oportunidades a los estudiantes, en su proyección laboral y en desarrollar el sentido que este vínculo virtuoso refuerza especialmente en las duras etapas de formación que sabemos conlleva nuestra disciplina.

Es claro, desde su trayectoria académica, que el profesor Aceituno tomó desde muy joven roles de gestión en la Universidad casi continuamente desde 1994 hasta 2018, siendo primero director del Departamento de Geofísica, luego Subdirector Académico de la Facultad, Director de su Escuela de Postgrado, Vicedecano de la Facultad, Vicerrector de Asuntos Académicos de la Universidad y finalmente Decano de la Facultad. En resumen, una vida completa de servicio entregada a la Universidad de Chile, y a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas en particular. Para mí es muy destacable que, a pesar de sus altos cargos y responsabilidades, él nunca perdió de vista el cariño genuino por la formación de los nuevos ingenieros(as), relevando la alta prioridad que esta actividad tiene para cualquier universidad, por muy relevantes que puedan llegar a ser otros indicadores de desempeño en investigación y que sabemos hoy en día condicionan mucho nuestro comportamiento como organizaciones académicas.

Quisiera finalizar felicitando al profesor Aceituno y a toda su familia por este muy importante reconocimiento que representan el premio Raúl Devés Jullian, y también al Instituto de Ingenieros de Chile y a su directiva por mantener esta hermosa tradición. Conociendo además muy de cerca todo lo que implica el enorme trabajo y responsabilidad que conlleva ser decano de una Facultad tan relevante como la de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, me siento muy orgulloso de entregar este bastón a un colega exdecano, pero por sobre todo a una persona tan destacada en lo profesional y humano como el Ingeniero, Doctor y Profesor Patricio Aceituno Gutiérrez.

Muchas felicidades Patricio y mucho éxito en todo lo que aún queda para seguir apoyando en todo lo que se pueda a esta maravilla que son nuestros estudiantes de Ingeniería.

Muchas gracias

(Aplausos).

A continuación, el Ingeniero Sr. Patricio Aceituno Gutiérrez recibió de manos de la Sra. Silvana Cominetti, Presidenta del Instituto, la Medalla Recordatoria y el Diploma de Honor. Enseguida, el Sr. Aceituno agradeció la distinción en los siguientes términos.

Sr. Patricio Aceituno Gutiérrez

—Ingeniera Silvana Cominetti, Presidenta del Instituto de Ingenieros de Chile. Ingeniero y Profesor Juan Carlos de la Llera. Ingeniero y Profesor Hernán de Solminihac. Colega y amigo Leonardo Basso. Señoras y Señores.

Me siento tremendamente honrado de recibir el Premio Raúl Devés Jullian del Instituto de Ingenieros de Chile, que recuerda la figura de un gran ingeniero que combinó su talento profesional, expresado en la dirección y ejecución de numerosas obras de infraestructura pública, con su amor y entrega por su *alma mater*, la Pontificia Universidad Católica de Chile, donde se desempeñó por largos años como profesor en la Facultad de Ingeniería, unidad académica que lideró como Decano entre 1960 y 1968. Me siento especialmente honrado de recibir esta distinción en presencia de su hija, mi amiga la Rectora de la Universidad de Chile, Prof. Rosa Devés Alessandri. Por otra parte, agradezco sinceramente

a quienes propusieron mi nombre para esta distinción y quienes apoyaron la propuesta.

Valoro particularmente este reconocimiento, porque es el primero que recibo por mi labor docente.

La distinción que hoy se me entrega se otorga a un ingeniero de nacionalidad chilena que se haya destacado por su esfuerzo y trabajo en la enseñanza de la ingeniería en Chile. Es cierto que soy chileno y que en 1974 obtuve el título de Ingeniero Civil Electricista de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile, pero debo señalar que mi vida laboral transcurrió en la academia en el ámbito de las ciencias atmosféricas, y en los últimos 12 años antes de mi retiro en 2018, en la administración académica.

En 1974, al terminar mis estudios de ingeniería eléctrica, me incorporé como académico al Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. En 1987 cuando volví de la Universidad de Wisconsin donde realicé mi formación de Doctorado en Meteorología, decidí volver a involucrarme en la docencia, a la cual me había acercado primero como Ayudante y Profesor Auxiliar de los cursos de Introducción a la Computación, Mecánica I y Algebra en el periodo 1970-1976 y luego entre 1976 y 1982 como profesor de un curso de Meteorología Aplicada de carácter electivo para diferentes especialidades de ingeniería (*). Tenía claro que debía aportar en la formación en el ámbito de las ciencias atmosféricas, pero allí la clientela estudiantil era reducida. Ambicionaba un desafío docente mayor. Creo recordar que fue como resultado de una conversación con mi amigo, colega y ex-profesor Francisco Brieva que decidí que sería profesor del curso de Mecánica, antiguamente denominado Mecánica Racional, uno de los más tradicionales y emblemáticos de la formación básica en ingeniería, y uno de los más temidos por los y las estudiantes en su paso por el Plan Común.

Guardo las actas de la primera vez que dicté el curso hace 36 años atrás, en el semestre de otoño de 1988. Desde entonces 4.382 estudiantes han pasado por ese curso en las 39 oportunidades que lo he dictado y no me canso de hacerlo. Encuentro que es un desafío intelectual interesante, sabiendo que siempre sentados en la sala hay estudiantes brillantes, que a veces con cierta timidez me señalan una forma alternativa de abordar un problema, que debo reconocer que es más inteligente que la que yo trato de enseñar. Pero también



Don Patricio Aceituno G., durante su discurso.

me sorprende que nadie responda en forma correcta una pregunta que siempre planteo al iniciar el curso ¿por qué flotan los astronautas al interior de las naves espaciales?... No se preocupen, no se la preguntaré aquí... Me entretiene maravillar a los estudiantes con el funcionamiento de la naturaleza y las leyes que regulan el movimiento, explicarles que el roce es un fenómeno indeseable en muchas situaciones, asociado al desgaste asociado o a la pérdida de energía por freno, pero que al mismo tiempo es el impulsor del movimiento, ya sea para caminar, correr o desplazarse en bicicleta o en automóvil. Explicarles mediante ecuaciones el funcionamiento del péndulo de Foucault y las trayectorias posibles de los satélites; así como el concepto de resonancia que luego verán en ingeniería civil, ingeniería eléctrica o ingeniería mecánica; contarles cómo se vincula el fenómeno de El Niño o la riqueza pesquera de nuestras costas con los efectos dinámicos de la rotación de la Tierra sobre el océano; o llevarlos a concluir que si se lanza un bloque sobre una superficie horizontal sin roce con una cierta velocidad inicial, la trayectoria que seguirá no será una línea recta si no que aproximadamente una circunferencia.

Quiero ahora compartir con ustedes, desde mi permanencia de 55 años en la universidad, algunas reflexiones sobre

cambios que han ocurrido en la formación en ingeniería en el campus Beauchef de la Universidad de Chile y otros que seguramente ocurrirán en el futuro.

EL CUERPO DOCENTE

Respecto del cuerpo docente los cambios en su naturaleza han sido significativos a lo largo de la historia. Hasta la década del 1960 estuvo dominado por profesionales que por una especial vocación docente dedicaban una parte de su jornada laboral a transmitir su conocimiento a las nuevas generaciones. Entre los numerosos ingenieros que durante ese periodo aportaron a la docencia en ingeniería en la Universidad de Chile, entre los cuales están los grandes próceres de este Instituto, aprovecho esta oportunidad para rescatar la memoria de uno de ellos: Luciano Claude, ingeniero civil quien realizó valiosas contribuciones en diversos ámbitos, algunas de las cuales quedaron documentadas en los Anales del Instituto de Ingenieros de Chile. Su actividad profesional fue notable, destacándose particularmente por el desarrollo de obras portuarias y por su participación en el desarrollo del Plan de Electrificación como Jefe de Energía y Combustibles de CORFO. Se le recuerda también como un activo impulsor de las actividades petrolíferas que llevaron a la creación de la ENAP. Junto con lo anterior, durante las décadas de 1930, 1940 y principios de la década de 1950 fue un destacadísimo profesor en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile donde ejerció las cátedras de Geometría Descriptiva y Geometría Plana, Máquinas Hidráulicas, Mecánica Racional, Análisis Vectorial y Cálculo Vectorial publicando varios textos sobre estas materias.

A partir de la década de 1970 el perfil de los/as docentes empieza a cambiar en la medida que se consolida una universidad con una fuerte componente de investigación. Si bien persiste la participación de profesionales que dedican una fracción de su jornada a la docencia, el referente principal que los estudiantes tienen como profesor o profesora es alguien que se dedica a tiempo completo a la academia, luego de obtener el nivel formativo más alto en su disciplina, para posteriormente desarrollar una actividad científica que lo mantiene permanentemente vinculado con los avances a nivel mundial. Sus mayores incentivos y presiones laborales las recibe por el lado de la investigación, lo que a veces lo lleva a olvidar que la misión más importante de la universidad y la que a mi juicio genera el mayor impacto social y aporte al país es la transmisión del conocimiento

a través de la docencia de pregrado y postgrado y de la educación continua.

CÓMO ENSEÑAR

Desde el inicio de la formación de ingeniería en Chile durante la mitad del siglo XIX, el paradigma de la transmisión del conocimiento, en esta y otras disciplinas, se expresa en el encuentro en una sala de clases entre alguien que expone y un grupo de estudiantes que escuchan y de alguna forma registran el relato para incorporarlo a sus conocimientos. Diversas señales indican que ese paradigma está cambiando y parece necesario buscar formas alternativas de interacción maestro-estudiante. Personalmente lo compruebo al contrastar la sala llena el primer día de clases y la progresiva declinación de la asistencia a lo largo del curso. Es evidente que la disponibilidad casi infinita de información en Google y otras plataformas digitales representa una fuerte competencia con la docencia clásica en la sala de clases, lo que lleva a un número creciente de estudiantes al convencimiento que éstas no son tan relevantes en su proceso de aprendizaje. Esto a su vez genera frustración y desánimo en los integrantes del cuerpo docente al ver sus salas semivacías. A la luz de esta realidad, es necesario explorar métodos alternativos de enseñanza en los cuales el rol del profesor será de todas maneras diferente al actual. La irrupción de la inteligencia artificial, también en el ámbito docente, contribuirá a acelerar este cambio de paradigma.

EL CONTENIDO DE LA FORMACIÓN Y LAS ESPECIALIDADES DE LA INGENIERÍA

La historia de la formación en ingeniería en la Universidad de Chile está marcada por distintas fases. En un principio y bajo el influjo de Ignacio Domeyko dominó la formación básica: matemática, geometría, física, química. Fue a fines del siglo XIX, cuando tomó fuerza la formación en temas específicos de ingeniería de minas e ingeniería civil, las únicas existentes, impulsada por la contratación de profesores en Europa. Por entonces la carrera de ingeniería tenía una duración de 5 años, la que se extendió a 6 a principios del siglo XX como respuesta a un cambio en los planes de estudio de los colegios que se tradujo en un significativo debilitamiento de la formación de matemáticas. Respecto de la duración de la carrera de ingeniería civil, existió en años recientes una fuerte presión por reducir el largo de

la carrera de 6 a 5 años. A este respecto, la reducción ya implementada de 12 a 11 semestres parece razonable, teniendo en consideración que el primer año de la enseñanza seguirá siendo de nivelación, como resultado de las serias brechas existentes en la formación de enseñanza media en las asignaturas que son relevantes para la formación en ingeniería (matemática, física y química).

Respecto de las especialidades de ingeniería, hubo que esperar hasta la década de 1940 para que luego de una grave crisis institucional motivada por un movimiento estudiantil que exigía la ampliación de la oferta formativa, se resolviera la creación de dos nuevas carreras: Ingeniería Mecánica Industrial e Ingeniería Mecánica Electricista. Ochenta años más tarde la oferta de formación profesional es considerablemente más diversa, con 9 especialidades de ingeniería civil, además de la carrera de geología. Sin embargo, la tecnología cambia y se complejiza con rapidez creciente y parece necesario explorar la creación de nuevas alternativas de formación en las fronteras entre las actuales especialidades, así como en los límites con otras disciplinas.

Es en el contexto de esta diversificación de la oferta formativa para dar respuesta a nuevos desafíos tecnológicos, que parece recomendable reabrir la discusión que se ha dado en varias oportunidades en el pasado respecto de cuán común debe ser el programa del Plan Común de los dos primeros años, partiendo del supuesto que la actual situación no es la óptima posible.

CIERRE

Cerrando este discurso afirmo que cuando miro hacia atrás y repaso mi quehacer en Beauchef, concluyo que la actividad que más satisfacción me ha dado es la docencia. Aprecio el carácter colectivo que ella tiene en el proceso formativo de sucesivas generaciones de estudiantes. Ver como cada año ingresa una nueva cohorte, ellos y ellas recién salidos de la niñez, inquietos, inteligentes y curiosos, diversos en origen social y formas de pensar, sin tener muy claro lo que quieren hacer. Luego, ser testigos del proceso de transformación

que ocurre en su paso por la universidad, como resultado de su esfuerzo personal y de los aportes que decenas de profesores y profesoras les van entregando a medida que avanzan en sus estudios. Disfruto en las ceremonias de graduación al comprobar el cambio ocurrido. Ver esos adolescentes transformados en profesionales, orgullosos de sus logros, seguros de sí mismos y preparados para enfrentar el mundo luego de finalizar con éxito un duro y exigente proceso de aprendizaje.

Me satisface ser parte de ese proceso continuo de interacción entre estudiantes y maestros que le da vida y sentido a la universidad. Un proceso que nunca se interrumpe con actores que van cambiando.

Llegan y se van los estudiantes. Se incorporan nuevos académicos y académicas y otros cierran ciclos de varias décadas realizando investigación y docencia. Más que una nueva cita de algún artículo científico publicado me alegra y levanta el ánimo recibir en los lugares más impensados ese ocasional saludo “*Hola profe*” de alguien que no siempre logro recordar. Me siento orgulloso de haber hecho mi pequeña contribución a la formación de miles de ingenieros, geólogos, geofísicos, físicos y astrónomos, hombres y mujeres, que cursaron conmigo el curso de Mecánica de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile. En particular, siento una particular satisfacción al verificar que como profesor de ese curso contribuí a la formación de 48 académicos y académicas que se desempeñan a jornada completa en Beauchef, a quienes espero haberles transmitido mi pasión por la docencia y el sentido primordial que ésta tiene en el cumplimiento de la misión de la universidad.

Mis agradecimientos nuevamente al Instituto de Ingenieros de Chile por esta distinción.

¡Muchas gracias!

(*Aplausos*).

Fin de la ceremonia.

PREMIO “RAMÓN SALAS EDWARDS – AÑO 2023”

Al desarrollo: “Orca-T, una terapia celular alogénica de alta precisión en investigación para pacientes con cánceres de la sangre que sean elegibles para un trasplante de células madre hematopoyéticas”



Sr. Ivan Krastev Dimov.



El pasado jueves 19 de octubre de 2023 a las 15:00 horas de Chile, vía zoom se realizó desde California EEUU, la ceremonia de entrega del premio “Ramón Salas Edwards - Año 2023” al desarrollo: “Orca-T, una terapia celular alogénica de alta precisión en investigación para pacientes con cánceres de la sangre que sean elegibles para un trasplante de células madre hematopoyéticas”, liderado por el Ingeniero Sr. Ivan Krastev Dimov.

En la ocasión, la Sra. Silvana Cominetti, Presidenta del Instituto de Ingenieros hizo una breve alocución en los siguientes términos:

“Este año, enfrentamos la particularidad de que nuestro homenajeado se encuentra en California Estados Unidos, por lo que, esta especial situación nos motivó a cambiar el formato de la ceremonia de este premio, incluyendo, por su importancia, una conferencia suya en que se referirá al desarrollo galardonado: “Orca-T, una terapia celular alogénica de alta precisión en investigación para pacientes con cánceres de la sangre que sean elegibles para un trasplante de células madre hematopoyéticas.”

El premio “Ramón Salas Edwards” fue instituido por el Instituto en el año 1961 para destacar el mejor trabajo científico o tecnológico relacionado con la Ingeniería y se otorga cada año, a partir de 2007, a la o las personas que hayan elaborado y publicado dicho trabajo en los 10 años anteriores a aquel en que se otorga dicho premio.

Corresponderá en seguida, al Sr. Alejandro Steiner, presentar brevemente al premiado de este año y, de esta forma, testimoniar en él los aspectos que caracterizan el trabajo distinguido y que honran la memoria de don Ramón Salas Edwards.

Extiendo al Sr. Dimov mis sinceras felicitaciones”.

A continuación, el Sr. Alejandro Steiner, director del Instituto de Ingenieros realizó la presentación del Sr. Iván Krastev Dimov, y el desarrollo premiado.

Sr. Alejandro Steiner

—Es para mí un honor y un placer presentar a Ivan Dimov como premio Ramón Salas Edwards 2023. Me detendré un instante en la trayectoria vital de Iván, porque tiene un interés especial. Ivan nació en Bulgaria, pero recibió su educación secundaria en varios países africanos, en los que trabajaron sus padres, ambos economistas. Cuando su mamá, casada con un chileno, se instaló en Chile, Iván entró a estudiar ingeniería electrónica en la UTFSM en 1999, donde completó además un magister en Sistemas de Redes de la Información

En la universidad encontró profesores acogedores y un ambiente propicio, que le permitieron desarrollar iniciativas

tales como formar un Centro de Robótica. A partir de esta experiencia continuó con la revisión de normas para dispositivos electro médicos, lo que despertó su interés por el mundo de la medicina. También, junto a colegas de su universidad, formó un Centro de Tecnología Hospitalaria, para propulsar las nuevas tecnologías médicas en los hospitales.

Interesado en la biología partió a Suiza e Irlanda. En este último país hizo un PhD en Biofísica Aplicada, en la Dublin City University, que recién estaba formando un Centro de Diagnóstico Biomédico (BDI) dotado con abundantes recursos. En su trabajo puso énfasis en la fluídica miniaturizada, que permite el uso de canales, cámaras de reacción y válvulas de diámetro micrométrico. Esta arquitectura permite repetir en un chip la química que usualmente usa matraces y tubos de ensayo a la escala que usualmente conocemos, pero con un empleo de reactivos de costo sustancialmente menor debido a su pequeño tamaño.

Luego se trasladó a California, donde comenzó a trabajar en Stanford con el Dr. Irv Weissmann al tiempo que también lo hacía en la Universidad de California en Berkeley. En esta última, Ivan desarrolló las tecnologías necesarias para miniaturización del diagnóstico PCR. En base a esta tecnología, Ivan fundó la empresa Lucira Health.

El primer éxito de Ivan fue el producto inicial de LUCIRA Health, un micro laboratorio que permite la detección del virus de COVID-19. Es decir, realizar un PCR (no la detección de anticuerpos en el paciente) en 20 min en un dispositivo que cabe en la mano y que está basado en microfluídica. Este dispositivo fue el primer test rápido de COVID-19 aprobado por la FDA en EEUU. Luego Lucira Health instaló fábricas en EEUU y en República Dominicana para la producción industrial del dispositivo. Finalmente, Pfizer compró los derechos.

En Stanford Ivan Dimov conoció a sus socios con los que en 2016 fundó Orca Bio y de la cual es su CEO desde esa fecha.

El producto estrella de Orca Bio y de Iván Krastev es Orca-T, una terapia celular alogénica¹ de alta precisión para pacientes con cáncer de sangre que sean elegibles para un trasplante de células madre hematopoyéticas.

¹ Alogénico: proveniente de un donante.

Desde hace décadas, los trasplantes de médula ósea y de células madre hematopoyéticas (HSCT, por sus siglas en inglés) se han utilizado para salvar la vida de numerosos pacientes de cáncer de la sangre y otros trastornos de la sangre. El HSCT alogénico es ampliamente efectivo porque funciona reemplazando el sistema sanguíneo enfermo del paciente por un sistema sanguíneo sano de un donante inmunológicamente compatible.

Sin embargo, una complicación grave limita esta intervención que, de otro modo salvaría vidas, a saber, la enfermedad de injerto contra Huésped, o GvHD (Graf versus Host Disease), que ocurre cuando células inmunitarias T (leucocitos T) específicas del donante, reconocen y atacan erróneamente a las células sanas de órganos del paciente, como hígado, intestino y piel. Los pacientes reciben más de 100 mil millones de células, pero menos del 1 % creará un beneficio terapéutico. De los que sobreviven a este tratamiento, el 40 % morirá en los primeros tres años debido a una recaída, a condiciones debilitantes de por vida como GvHD, insuficiencia orgánica o infección.

El campo del HSCT dio un gran salto adelante con la observación de que composiciones celulares precisas (del donante) pueden controlar los resultados posteriores del trasplante. El Dr. Irv Weissman en Stanford demostró que bastaban 30 células madre purificadas de entre 100 millones de células de la médula ósea del donante para reconstituir completamente (*ab ovo*) la sangre y el sistema inmunitario del receptor.

A partir de este hecho el ingeniero Dimov y sus socios, a través de Orca Bio, han inventado una forma de aislar las células que el paciente realmente necesita en un trasplante de células madre, que son menos del 1 % de entre los 100 mil millones que recibe, de modo que el resto de las células nunca ingrese al cuerpo del paciente. El enfoque biotecnológico de selección celular de precisión que Orca Bio ha desarrollado no solo tiene el potencial de resolver el cáncer y las recaídas, sino también cientos de enfermedades en el futuro.

La tecnología de selección de las células de la sangre del donante es una maravilla de ingeniería. Emplea una lámina de vidrio, bañada con la sangre del donante que tiene millones de poros de un diámetro tal que solo admite una única célula de la sangre del donante.

Un sistema de reconocimiento revisa los poros de la lámina y distingue los que tienen células adecuadas. Luego un rayo láser recorre los poros y da un pulso para romper la tensión superficial que tienen las células que se desea conservar, de modo que el líquido que contienen y sus células puedan caer. Una nueva placa reemplaza la anterior, que se va a desecho, y el proceso se repite. Así se puede purificar la sangre del donante en unas pocas horas, separando las células deseadas de las indeseables. Esta tecnología de selección utiliza desarrollos previos derivados de los dispositivos de impresión láser a los que convirtió en procedimientos precisos de selección de células. Es la unión de la fluidica con la electrónica y la medicina.

En el paciente que recibe el tratamiento se debe hacer espacio para el sistema inmunitario del donante, destruyendo la mayor cantidad posible de células sanguíneas preexistentes, afectadas por la enfermedad. Este proceso acaba tanto con las células sanguíneas sanas como con las enfermas. Con ello las células del donante tienen espacio para proliferar, por lo que las células madre pueden repoblar el sistema sanguíneo y las células blancas T tienen espacio para repoblar las células T del sistema inmunitario del paciente.

Las células madre se alojan en el bazo y la médula y comienzan a formar un nuevo sistema sanguíneo. Las células T reguladoras primero se alojan y proliferan en el bazo y los ganglios linfáticos, órganos que son esenciales para educar a las células T para que reconozcan lo propio frente a lo ajeno. Estas células T reguladoras luego transitan y proliferan en los órganos objetivo de la GvHD para establecer un entorno inmunorregulador favorable a la tolerancia.

Hay que considerar que una impureza de células T tan pequeña como 0,01 % - 0,1 % del producto de injerto original es suficiente para causar GvHD en esta etapa. En Orca-T, las células T convencionales se encuentran con el lienzo ya preparado con el cebado pro-tolerancia de las células T reguladoras. Esto limita el proceso inflamatorio en los órganos objetivo de la GvHD, al mismo tiempo que permite que las células T convencionales proliferen en la sangre, lo que acelera la reconstitución del sistema inmunitario. Mientras el nuevo sistema inmunitario se estabiliza (3 a 6 meses), se mantiene una dosis baja de profilaxis farmacológica de agente único para evitar brotes inmunológicos. Sin embargo, la dosificación es lo suficientemente suave como para permitir una rápida reconstitución inmunitaria.

Esta tecnología tiene el potencial de tratar mucho más que el cáncer. Porque si es capaz de incorporar las células sanas exactas y correctas, esencialmente puede reparar un sistema inmunitario defectuoso y reprogramarlo. Puede resolver trastornos genéticos de la sangre, como la enfermedad de células falciformes y la beta talasemia. Puede solucionar enfermedades del sistema inmunológico, así como enfermedades mayores como la diabetes tipo I o la enfermedad inflamatoria intestinal o la esclerosis múltiple. Enormes enfermedades para las que no ha habido nuevos enfoques que afecten significativamente su curso, y mucho menos una cura.

Por último, Orca Bio está expandiendo sus actuales capacidades de fabricación mediante la construcción de una instalación comercial de 9.000m² en Sacramento, California. La nueva instalación está destinada a respaldar el desarrollo clínico y la comercialización de última etapa de las terapias celulares de precisión de Orca Bio, incluida Orca-T, que actualmente se está evaluando en un ensayo de fase 3.

Uno de los aspectos más destacados de las nuevas instalaciones es la capacidad de fabricar aproximadamente 3.000 productos de terapia celular por año. La construcción se completó al principio del 2023 y se espera que esté completamente validada y operativa en la primera mitad de 2024.

Debo agregar que el Ingeniero Dimov tiene más de 30 publicaciones técnicas y más de 40 patentes, pero tan importante como eso es su personalidad. Tiene siempre presente que los desarrollos de la investigación en la que está envuelto deben convertirse en realidad material, que ayude a la sociedad. Tiene un compromiso emocional profundo con aquellos a los que su tecnología ha ayudado a sanar, y, por último, tiene aguda conciencia de la suerte que ha tenido de estar en el lugar apropiado y el momento adecuado, en los cuales sus dotes han podido dar fruto.

Con muchos como Ivan Krastev Dimov, el mundo sería sin duda mejor.

Muchas gracias.

Acto seguido, la Sra. Cominetti hace entrega, en forma simbólica de la Medalla Recordatoria y Diploma de Honor a don Ivan Krastev Dimov. Distinción que el Sr. Dimov, agradeció en los siguientes términos:



Sr. Ivan Krastev Dimov

—Muchas gracias a todos y muchas gracias Alejandro también, realmente es un tremendo orgullo me siento muy humilde en esta situación, porque en realidad mucho de estos logros se los debo a toda la gente y todo el equipo de personas con las que trabajamos, esto es imposible hacerlo solo.

Me encantó el discurso que dio Alejandro, en especial los detalles técnicos, así que gracias por esa tremenda presentación y gracias por el tremendo premio, es un honor.

Quisiera usar este premio, más que nada, para poder contar un poco la historia que tuve y un poco los detalles de lo que hemos logrado hasta ahora, para que esto ojala ayude a los demás que están pensando en hacer algo parecido, de que tengan el coraje de hacerlo y que tomen los riesgos

necesarios, porque no hay ninguna otra forma de cambiar las cosas al menos que uno tome ciertos riesgos, y cuando uno toma riesgos y esta solo enfrentando algo, y no sabe si va a resultar, la única cosa que te da un poco de confianza y consuelo, es que ha habido gente en esa situación antes y que han tomado ese riesgos, han estado en estas dificultades y de cierto modo han podido progresar y, por lo tanto, hay esperanza que salga bien.

Entonces quiero usar en el fondo un poco mi historia para motivar a los demás, en especial las generaciones más jóvenes, de pensar en grande y tomar muchos riesgos, pero

riesgos bien calculados e inteligentes, para que cambien el mundo, para que sean mejor, a través de Ingeniería, la tecnología, la biología u otros ámbitos relevantes, y para eso puedo contar en forma más gráfica lo que dijo también Alejandro Steiner.

Muchas gracias.

A continuación, el Sr. Dimov hizo una presentación del desarrollo premiado. En la página 3 se encuentra el texto completo.

PREMIOS A LOS ALUMNOS DESTACADOS DE INGENIERÍA CIVIL - AÑO 2023



*Premios a Egresados 2023:
“Marcos Orrego Puelma”, “Ismael Valdés Valdés” y “Roberto Ovalle Aguirre”.*

El viernes 6 de octubre de 2023, en el Salón de Honor del Instituto de Ingenieros de Chile, tuvo lugar la ceremonia de entrega de los Premios «MARCOS ORREGO PUELMA», «ISMAEL VALDÉS VALDÉS» y «ROBERTO OVALLE AGUIRRE», año 2023.

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

La Presidenta

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

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

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

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

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

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

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

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

PREMIO “MARCOS ORREGO PUELMA”

—Don Marcos Orrego Puelma, nació en 1890 y falleció en 1933, fue un prestigioso Ingeniero egresado de la

Universidad de Chile en 1916. En él se puede apreciar la amalgama más estrecha de honor, virtud, rectitud, esfuerzo constante y digno, en una época marcada de vacilaciones y convencionalismos.

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

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

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

PREMIO “ISMAEL VALDÉS VALDÉS”

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

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

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

El año 1927 el Instituto de Ingenieros de Chile le designó Miembro Honorario y más tarde, en 1938, le otorgó la Medalla de Oro, distinción con la que anualmente se honra a un ingeniero, que es elegido entre los que se estima dignos

de tal galardón por los servicios prestados al país en alguna de las múltiples actividades de la ingeniería.

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

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

PREMIO “ROBERTO OVALLE AGUIRRE”

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

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

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

Antes de finalizar estas palabras, permítanme los premiados, en mi calidad de Presidenta del Instituto de Ingenieros, complementar la información que se les diera en la reunión

a la que fueron invitados en septiembre recién pasado, en la que se les explicó brevemente la misión de nuestra Corporación.

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

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

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

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

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

Muchas gracias.

Acto seguido, la Presidenta, Sra. Cominetti procedió a hacer entrega de los Diplomas y Medallas a los galardonados:



Premio “Marcos Orrego Puelma”

Universidad de Chile: Martín Gilabert Vio; P. Universidad Católica de Chile: José Joaquín Mendoza Lopetegui; Universidad de Concepción: Catalina Briones González; Universidad Técnica Federico Santa María: Gabriel Alfredo Carmona Tabja; Universidad de Santiago de Chile: Valentina Jocelyn Liguëño Henríquez; Universidad Diego Portales: Joaquín Tomás Vial Juillerat; P. Universidad Católica de Valparaíso: Francisca Isabel Licandeo Luco; Universidad de Los Andes: Felipe Elgueta Larraín.

Premio “Marcos Orrego Puelma”

- Universidad de Chile: **Martín Gilabert Vio.**
- P. Universidad Católica de Chile: **José Joaquín Mendoza Lopetegui.**
- Universidad de Concepción: **Catalina Briones González.**
- Universidad Técnica Federico Santa María: **Gabriel Alfredo Carmona Tabja.**
- Universidad de Santiago de Chile: **Valentina Jocelyn Liguëño Henríquez.**
- Universidad Diego Portales: **Joaquín Tomás Vial Juillerat.**
- P. Universidad Católica de Valparaíso: **Francisca Isabel Licandeo Luco.**
- Universidad de Los Andes: **Felipe Elgueta Larraín.**

Premio “Ismael Valdés Valdés”

- Universidad de Chile: **Marcelo Enrique Jiménez da Fonseca.**
- P. Universidad Católica de Chile: **María Ignacia Henríquez Pinto.**
- Universidad de Concepción: **Francisca Zamorano Lagos.**
- Universidad Técnica Federico Santa María: **Ismaela Fernanda Magliotto Quevedo.**
- Universidad de Santiago de Chile: **Karla Andrea Dimitrópulos Vega.**
- Universidad Diego Portales: **Manuel Felipe Faúndez Sepúlveda.**
- P. Universidad Católica de Valparaíso: **Stephanie Gisella Gómez Holmer.**
- Universidad de Los Andes: **Ignacio José Figueroa Kocksch.**



Premio “Ismael Valdés Valdés”

Universidad de Chile: Marcelo Enrique Jiménez da Fonseca; P. Universidad Católica de Chile: María Ignacia Henríquez Pinto; Universidad de Concepción: Francisca Zamorano Lagos; Universidad Técnica Federico Santa María: Ismaela Fernanda Magliotto Quevedo; Universidad de Santiago de Chile: Karla Andrea Dimitrópulos Vega; Universidad Diego Portales: Manuel Felipe Faúndez Sepúlveda; P. Universidad Católica de Valparaíso: Stephanie Gisella Gómez Holmer; Universidad de Los Andes: Ignacio José Figueroa Kocksch.

Premio “Roberto Ovalle Aguirre”

- Universidad de Chile: **Javiera Alejandra Abrigo López.**
- P. Universidad Católica de Chile: **Agustín Nataniel Cox Jara.**
- Universidad de Concepción: **Daniel Alonso Merino Méndez.**
- Universidad Técnica Federico Santa María: **Ana Carolina Puyol Carreño.**
- Universidad de Santiago de Chile: **Yasmín Alejandrina Delgado González.**
- Universidad Diego Portales: **Michelle Andrea Aránguiz Fernández.**
- P. Universidad Católica de Valparaíso: **Sofía Antonia González Cuellar, Sandra Valeska Ponce Mascaró y Bárbara Patricia Collarte Peña.**
- Universidad de Los Andes: **Nicolás Eduardo Silva Castán.**

A continuación, la ingeniera Srta. Yasmín Delgado González de la Universidad de Santiago de Chile, en representación de los premiados expresó sus agradecimientos, en los siguientes términos:

Srta. Yasmín Delgado González

—Mi más grato saludo a la señora Presidenta, Silvana Cominetti, estimados miembros del Directorio del Instituto de Ingenieros de Chile, autoridades Académicas, distinguidos miembros y socios del Instituto, colegas galardonados, familiares y amigos.

Es un honor y un privilegio estar hoy aquí, frente a esta destacada audiencia, para compartir un momento de profunda gratitud y reflexión.



Premio “Roberto Ovalle Aguirre”

Universidad de Chile: Javiera Alejandra Abrigo López; P. Universidad Católica de Chile: Agustín Nataniel Cox Jara; Universidad de Concepción: Daniel Alonso Merino Méndez; Universidad Técnica Federico Santa María: Ana Carolina Puyol Carreño; Universidad de Santiago de Chile: Yasmín Alejandrina Delgado González; Universidad Diego Portales: Michelle Andrea Aránguiz Fernández; P. Universidad Católica de Valparaíso: Sofía Antonia González Cuellar, Sandra Valeska Ponce Mascaró y Bárbara Patricia Collarte Peña; Universidad de Los Andes: Nicolás Eduardo Silva Castán.

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos ustedes por acompañarnos en este día tan especial, ya que su presencia agrega un valor inmenso a esta celebración. Agradezco profundamente al Instituto de Ingenieros por entregarnos este reconocimiento. Particularmente, este momento fue un sueño durante cuatro de los seis años de mi carrera y se convirtió en una meta durante mi trabajo de titulación.

Sin lugar a dudas, el compromiso del Instituto con la excelencia en la ingeniería y su enfoque en la formación de ingenieros no solo técnicamente competentes, sino también comprometidos con el servicio a la sociedad es un aspecto notable.

El lema del Instituto, “promover la excelencia de la ingeniería y contribuir al desarrollo del país”, resuena profundamente en nuestros corazones. Es un llamado a la acción que va más allá de la obtención de títulos académicos y a utilizar

nuestros conocimientos y habilidades para aportar nuestro grano de arena al desarrollo de este país y muchos otros.

El desafío que se nos presenta no es menor. Vivimos inmersos en constante cambio, con desafíos ambientales, sociales y tecnológicos que requieren respuestas audaces y creativas. Sin embargo, miramos hacia atrás en la historia de la ingeniería y encontramos innumerables ejemplos a seguir, de cómo la creatividad humana ha superado desafíos aparentemente insuperables.

La educación que hemos recibido nos ha dotado de herramientas poderosas, pero también nos ha inculcado valores esenciales. La importancia de la ética en nuestras decisiones, la conciencia de la sostenibilidad en nuestras acciones y el compromiso con el progreso de nuestra sociedad, son valores esenciales que llevamos con nosotros a lo largo de nuestro viaje por la vida.

Algunos de nosotros nos dedicaremos a la investigación, otros al diseño y la construcción, y otros a liderar equipos y proyectos. Pero, independientemente de nuestras trayectorias, compartimos el compromiso de utilizar las herramientas que nos han entregado como un aporte a la sociedad.

Nos encontramos en un momento crucial de nuestra historia como ingenieros. La sociedad nos necesita más que nunca para abordar los desafíos globales, desde la sostenibilidad ambiental hasta la equidad social. Debemos estar dispuestos a hacer frente a preguntas difíciles y a trabajar juntos para encontrar respuestas innovadoras.

Tal y como se nos inculcó, ser ingeniera o ingeniero, requiere de saber representar un buen liderazgo. Junto con esto, reconocemos que la interdisciplina es esencial. Entendemos que la resolución de problemas complejos requiere una variedad de perspectivas y habilidades. La colaboración con colegas de diferentes campos nos lleva a crear aportes realmente valiosos.

En este viaje, destacamos que no estamos solos. Contamos con el apoyo de nuestras familias, amigos y profesores, quienes fueron y seguirán siendo figuras fundamentales en nuestra formación.

A medida que avanzamos en nuestras carreras, recordemos siempre que la excelencia en la ingeniería va más allá de la destreza técnica; implica un compromiso profundo con el bienestar de cada ciudadano.

Sigamos siendo inspirados por este ideal y trabajemos juntos para entregar nuestro aporte al progreso.



Srta. Yasmín Delgado, durante su discurso.

Nuevamente, en nombre de todos los galardonados y galardonadas presentes, quiero expresar nuestro más grande agradecimiento por estos reconocimientos. Hoy más que nunca, nos comprometemos a servir a la sociedad con integridad y excelencia. Continuaremos avanzando juntos hacia un futuro más brillante.

Muchas gracias a todos y todas. ¡Larga vida a la ingeniería y al Instituto de Ingenieros de Chile!

(Aplausos).

Fin de la ceremonia.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS



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

En esta ocasión se presentan dos extractos de las entrevistas realizadas al Ingeniero JAIME ILLANES PIEDRABUENA y al Ingeniero RAÚL URIBE SAWADA. Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.

JAIME ILLANES PIEDRABUENA

Ingeniero de excelencia, líder en el desarrollo de los temas medioambientales en Chile y Latinoamérica

Sus estudios secundarios fueron en el colegio Saint George, donde recuerda a dos destacados profesores, Montedónico de Física y el Sacerdote Provenzano en Matemáticas y Física. Luego, al postular a la universidad tuvo la duda entre estudiar ingeniería o derecho. Se decidió por la primera con los consejos de su abuelo Ernesto Illanes y porque le gustaba mucho la construcción. Así fue como entró a estudiar ingeniería en la Universidad de Chile, donde siempre le gustaron los ramos de matemáticas y el cálculo estructural. Recuerda que tuvo profesores notables como Igor Saavedra, Rodrigo Flores, Fernando Martínez, el profesor Friedman y Juan de Dios Vial. Luego de recibirse viajó a Inglaterra donde hizo un Magister en el Imperial College of Science and Technology de la University of London. Ahí recuerda especialmente a sus profesores Bishop y Skempton.

Comenzó a trabajar mientras estudiaba. Primero en la oficina de Mecánica de Suelos de Fernando Martínez y luego en la construcción de la Línea 1 del Metro durante el último año de ingeniería. En lo profesional, sus actividades las divide en tres etapas. Como ingeniero geotécnico participando en diseño de grandes obras de ingeniería, luego dedicado a los estudios medioambientales y, por último, como gerente de empresas de ingeniería, particularmente dos: Dames & Moore en el ámbito internacional y Jaime Illanes y Asociados Consultores S.A. en Chile.

En sus más de 50 años de vida profesional ha participado en muchos proyectos. Por ejemplo, en el ámbito de la modelación matemática, u otros tan variados como el análisis del impacto de un avión comercial en una central nuclear en Europa, la licuefacción de lentes de suelos arenosos bajo una central nuclear en Suecia, el diseño de las fundaciones de 72 plataformas de petróleo en el Golfo Pérsico, el diseño de las fundaciones de grandes estanques de LNG y LPG en Abu Dhabi y el diseño de las fundaciones de diversas Refinerías de Petróleo en Abu Dhabi, Irak y Kuwait. En el ámbito medio ambiental destaca un proyecto en la bahía de Kuwait, estudios de Impacto Ambiental en Chile para diversos proyectos mineros, puertos, plantas de celulosa y centrales eléctricas.

Como aporte a la ingeniería, ha contribuido a la formación de muchos ingenieros y profesionales jóvenes. En el ámbito



técnico, ha sido un referente en la búsqueda constante de la calidad en los trabajos que ha realizado.

Recuerda una anécdota en su juventud. Trabajando con don Fernando Martínez, todavía en la Universidad, tuvo que supervisar unas pruebas de carga en pilotes en Constitución. Durante la prueba se reventaron las gatas hidráulicas, y sin saber qué hacer llamó a la oficina en Santiago. Don Fernando le dijo: “usted ha estudiado ingeniería, aplique sus conocimientos”. Esa frase la recuerda siempre, porque le dio seguridad para enfrentar situaciones imprevistas y enfrentar grandes desafíos técnicos. Nos agrega una anécdota más lúdica: le tocó asesorar a una empresa minera para un gran proyecto en Afganistán, donde la visita a terreno se hizo con guardias que iban armados con metralletas.

Su desafío ha sido siempre buscar la excelencia en lo que hace. La calidad de su trabajo lo ha hecho merecedor de diversos premios recibidos en Europa. En lo personal, reconoce el apoyo de su familia ya que, para desarrollar vida laboral, por muchos años tuvo que viajar constantemente por diversos países. En los últimos 30 años le ha tocado trabajar con equipos multidisciplinarios de ingenieros, biólogos, arqueólogos, geógrafos, ingenieros forestales, biólogos marinos, economistas, sociólogos y oceanógrafos. Sostiene que así uno aprende mucho al integrar las diversas visiones en un proyecto.

Sin duda Jaime ha hecho un importante aporte en la consultoría medioambiental en Chile, particularmente integrando las diversas disciplinas involucradas en esta materia. También ha colaborado en el desarrollo de la temática ambiental en varios países latinoamericanos apoyando a los gobiernos de Chile, Argentina, Perú, Uruguay y Panamá.

Está convencido que la ingeniería ayuda en los diversos aspectos del quehacer del consultor, al aplicar el razonamiento lógico, programar y plantear adecuadamente los problemas e integrar visiones. Hizo clases en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile en un magister en Medio Ambiente y en las Universidades Finis Terrae, Católica y del Desarrollo. Entre los años 1995-1997 fue presidente del Instituto de Ingenieros de Chile, donde se esmeró en incorporar a estudiantes como miembros del Instituto.

Opina que las personas y su talento son los principales activos de una empresa de consultoría. Este activo lo ha cuidado siempre en todas las empresas en que le ha tocado trabajar, particularmente en Jaime Illanes y Asociados, empresa que fundó hace más de 20 años. En una palabra, se define como una persona intelectualmente inquieta y muy interesado en la innovación y la creatividad.

Para él lo más importante es su familia. Nos cuenta los aportes que le ha tocado hacer en el ámbito de la ayuda a los más necesitados. Hace algunos años fue socio fundador y presidente de la Fundación Nuestros Hijos, fundación que ayuda a las familias con niños con cáncer. Hoy día esta fundación es un referente a nivel nacional y es un orgullo para él haber sido parte de ella en sus inicios. En estos

últimos años junto a su señora e hijas crearon la Fundación Illanes Zubieta, que ayuda en las áreas de salud, educación y desarrollo social, como una forma de retribuir a la sociedad las oportunidades que les ha dado la vida.

No cree ser una persona de muchos talentos especiales. Se define como muy trabajador, comprometido con lo que hace y particularmente le importa la calidad en su entrega profesional. Jaime es católico, cree profundamente en los valores cristianos, como la honradez, la verdad y el respeto a otras personas y trata de regir su vida por esos principios. Le gustaría ser recordado como un profesional que trató de hacer las cosas bien, siempre respetando a los demás.

La ingeniería del futuro la ve apasionante en la medida que uno quiera subirse al carro del conocimiento y esté abierto a aprender nuevas tecnologías. Observa que cada vez se desarrollan proyectos más audaces e interesantes, las necesidades y prioridades de las personas van cambiando, lo que requiere que la ingeniería se vaya adaptando. Sostiene que, si las empresas no invierten en innovación, van a sucumbir y que innovar es indispensable para tener un mundo sostenible.

Le pedimos que dé un mensaje a las nuevas generaciones, y nos dijo: Primero, que busquen la excelencia en lo que hacen, eso trae mucha gratificación. Segundo, que estén abiertos a los cambios, ya que todo está cambiando muy rápidamente, y a veces es un mundo muy volátil. No debemos bajar los brazos si sentimos que el mundo avanza en una dirección que no nos gusta. Y tercero, que nunca dejen de gozar en su trabajo como ingenieros, ya que es una profesión apasionante.



RAÚL URIBE SAWADA

Un ejemplo de esfuerzo, notable académico y siempre al servicio de la ingeniería y los ingenieros

Su padre, siempre ausente, fue Ingeniero Civil y seguramente por eso, desde niño dijo que sería Ingeniero Civil. Su familia era originaria de Copiapó y, desde Santiago, fue enviado a casa de unos tíos en esa ciudad. En ella hizo sus estudios primarios en la Escuela Emeterio Goyenechea,

dirigida por Padres Franciscanos belgas. Recuerda esos años como los más felices de su infancia, fue scout, hizo la Jura de la Bandera y sacó todos los premios en sus años de Preparatoria.

Cursó la secundaria en el Liceo Valentín Letelier y siempre sacó buenas notas. Recuerda con cariño al Profesor de Historia, don Carlos Grez, y al Profesor de Matemáticas don Eduardo Rodríguez, a quien apodaban cariñosamente

Controlito. Algunos de sus compañeros fueron amigos de toda la vida.

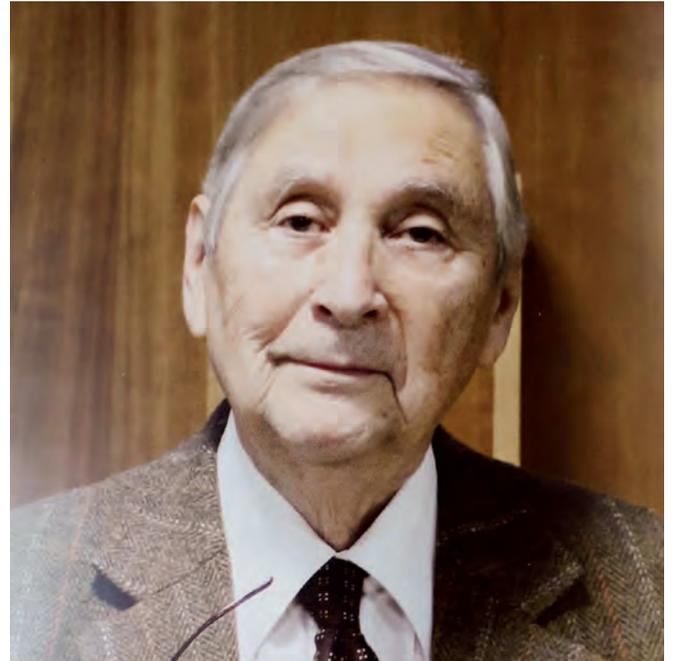
Vivía con su madre y ambos soportaron muchas penurias económicas mientras estudiaba.

Terminada la secundaria y superando con éxito el Bachillerato en Matemáticas, ingresó a la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile. Recuerda con cariño esos primeros años de estudios muy exigentes y con notables profesores. Con admiración recuerda a don Domingo Almendras y a don Arturo Arias, excelentes en sus especialidades. También a los profesores Rodrigo Flores y Francisco Javier Domínguez, el popular Pancho Jota. En Sexto Año tomó la especialidad Hidráulica. En ese tiempo los estudios eran anuales y de currículum fijo, lo que contribuía a que, durante seis años, se formaran fuertes lazos de amistad entre los compañeros de curso.

En los primeros años de la carrera se interesó mucho por los ramos matemáticos y pronto fue Ayudante y Profesor Auxiliar, con una vena docente, porque disfrutaba aprendiendo materias para luego enseñarlas. Así fue que tan pronto terminó sus estudios, fue designado como Profesor en la misma Escuela de Ingeniería, iniciando una larga carrera en la docencia, por más de 50 años, en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Una vez recibido, ingresó a la Empresa Nacional de Electricidad, Endesa, donde desarrolló gran parte de su vida profesional en el Departamento de Ingeniería Civil. Le tocó participar en proyectos de la Central Isla, el Túnel de Vaciado del Lago Laja, la Central Chapiquiña y otras. Recuerda con afecto a los ingenieros Luis Court, Hiram Peña y Mario Zenteno. Cuando la empresa se dividió, pasó a trabajar en Ingendesa y posteriormente emigró a la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas. Del MOP recuerda con cariño al Ingeniero Gerardo Moenne y años de trabajo en el Proyecto Laja-Diguillín.

En una etapa de su carrera fue llamado por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (Ingeniería) a hacerse cargo de la Dirección de su Departamento de Matemáticas. En él su ocupación principal fue desarrollar un programa de



perfeccionamiento en el extranjero para elevar el nivel académico de sus integrantes. Varios profesores desarrollaron con éxito Programas de Doctorado en Francia. Permaneció varios años como asesor del Decano.

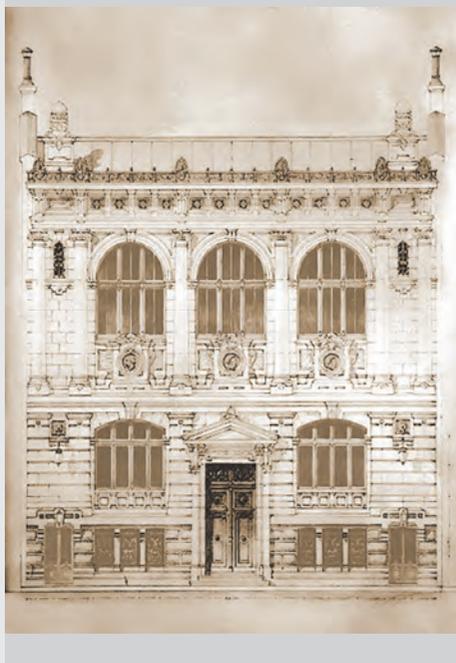
Además de su interés por las Matemáticas, siempre tuvo un sesgo hacia la literatura e historia. Le interesa la historia de Francia e Inglaterra de los siglos XIV al XVI. Tiene un pequeño opúsculo sobre la Guerra de los Treinta Años y cree que el siglo XX es un reflejo distante del Siglo XIV.

Se interesó mucho por la labor del Instituto de Ingenieros y fue miembro de su Directorio por varios períodos. Se preocupó especialmente por las publicaciones del Instituto, reorganizando la publicación de sus Anales, que se iniciaron en 1888, y de la Revista Chilena de Ingeniería, asumiendo su dirección. En el año 2014 el Instituto le otorgó la Medalla “Al Ingeniero por Acciones Distinguidas”.

Ahora, retirado de la ingeniería y la docencia, reconoce que el cambio tecnológico es muy grande y que actualmente las variables ambientales tienen un papel preponderante en los proyectos de ingeniería. Espera que la Ingeniería contribuya cada vez más al bienestar de la Humanidad.



RECONOCIMIENTO A NUESTROS SOCIOS



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

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

A nuestros socios este especial reconocimiento.

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

Raúl Becerra Valladares
Bruno Behn Theune
Carlos Benavides Farías
Sally Bendersky Schachner
Sebastián Bernstein Letelier
Sergio Bitar Chacra
Patricio Bonelli Canales
Jorge Bravo Espinosa
Mateo Budinich Diez
Juan Enrique Cannobbio Salas
Carlos Canto Ilabaca
Manuel Carracedo Contador
Camila Casal Campos
Juan Manuel Casanueva Préndez
Juan E. Castro Cannobbio
José Ceroni Díaz
Salvador Chávez Ñancupil
Luciano Claude Yávar
Silvana Cominetti Cotti-Cometti
Gastón Concha Fariña

Ronald Contreras Córdova
Joaquín Cordua Sommer
Fernando Crespo Romero
Juan H. Cruz Rodríguez
Pablo Daud Miranda
Cristian Dawson García
José de Gregorio Rebeco
Juan P. de la Carrera Paulsen
Fernando de Mayo Israel
Alejandra Decinti Weiss
Raúl Demangel Castro
Isaac Díaz Agurto
Joaquín Díaz Quiroga
Esteban Domic Mihovilovic
Fernando Echeverría Acuña
Gustavo Estay Caballero
Javier Etcheberry Celhay
Hans Feddersen Jungjohann
Víctor Figueroa De la Fuente
Sebastián Fingerhuth Massmann

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

ISSN 0716 - 2340



**ANALES
DEL INSTITUTO
DE INGENIEROS DE CHILE**

Vol. 135, N° 3 - DICIEMBRE 2023

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

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

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

Anales del Instituto de Ingenieros Vol. 135, N° 3, diciembre de 2023

Contenido

ANÁLISIS QUÍMICO Y MINERALÓGICO DE GEOPOLÍMEROS DE RELAVE DE FLOTACIÓN DE COBRE.

Pág. 71

Hengels Castillo, Irene Aracena, Tania Triviño, Sebastián Sánchez, Thomas Droguett, Mario Vesely y Sergio Palma.

LAS AGUAS GRISES COMO NUEVA FUENTE DE AGUA.

Pág. 99

Valentina Carrillo, Yenifer González, Gloria Gómez, Verónica Droppelmann y Gladys Vidal.

Editor

Raúl Uribe Sawada, Instituto de Ingenieros de Chile.

Comité Editorial

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

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

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

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

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

Raúl Benavente G., Sociedad Chilena de Educación en Ingeniería (SOCHEDI)

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

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

ANÁLISIS QUÍMICO Y MINERALÓGICO DE GEOPOLÍMEROS DE RELAVE DE FLOTACIÓN DE COBRE

Hengels Castillo ^{1,2,3*}, Irene Aracena ¹, Tania Triviño ¹, Sebastián Sánchez ⁴, Thomas Droguett ³, Mario Vesely ¹, Sergio Palma ².

RESUMEN

El relave de cobre es un material con una gran variedad mineralógica, destacando entre ellos la presencia de óxidos de silicio, aluminio y hierro; elementos esenciales para la formación de un geopolímero. Los geopolímeros se forman a partir de fuentes de aluminosilicatos como las cenizas volantes, metacaolín y en los últimos años los relaves de la minería, como los relaves de cobre de esta presente investigación. El geopolímero de relaves de cobre puede ser utilizado como alternativa en el relleno de caserones mineros, debido a la resistencia a la compresión uniaxial simple que pueden alcanzar desde 1 [MPa] a 70 [Mpa] o más. En este reporte, se presentan los resultados de la investigación del análisis químico y mineralógico de las muestras de relave de cobre utilizadas para generar geopolímeros, y como este tipo de análisis entrega información respecto a las impurezas que se generan en el proceso de formación de los geopolímeros de relaves de cobre mezclado con hidróxido de sodio (NaOH) y Silicato de Sodio (Na₂SiO₃). Los minerales que presentan mayor ocurrencia en la composición del relave son: Plagioclasa – Clinocloro – Cuarzo – Epidota y Ortoclasa, similar a lo observado en investigaciones previas en donde se usó relave de cobre para la formación de geopolímeros. El geopolímero de relaves activados con un 100% de NaOH y los con 100% de Na₂SiO₃, fueron cocidos en un horno por 7 días, mezclas que posteriormente fueron analizadas para identificar y cuantificar las especies mineralógicas mediante análisis Qemscan. Las fases cristalinas presentes en el relave, y que se presentan en cantidades similares en los geopolímeros, no se vieron afectadas por la activación alcalina, lo cual sugiere una disolución incompleta de las fases cristalinas en los materiales precursores, debido, principalmente, por las bajas temperaturas de curado (90°C). Fue posible notar que la ocurrencia de cuarzo disminuye en los geopolímeros y más aún en aquel con reactivo NaOH en comparación con la mezcla con Na₂SiO₃, lo cual se confirmó con el análisis químico, en el cual se observó la misma variación y tendencia. Debido a que la fase de cuarzo disminuye en el geopolímero con NaOH, se deduce que este mineral participa en la reacción de geopolimerización, proporcionando Si para la formación del gel N-A-S-H. Se observó un aumento de la ocurrencia de Clinocloro en la muestra procesada con NaOH, con respecto de la mezcla con Na₂SiO₃, la cual puede ser debido a expensas de la liberación de elementos aportados por aquellos minerales que disminuyeron sus ocurrencias, como es el caso del Mg y Fe. Se hace un análisis en detalle de cada uno de los minerales detectados con el ensayo Quemscan, presentando una comparación para los geopolímeros activados con NaOH y Na₂SiO₃.

¹ JRI Ingeniería S.A., Department of Geotechnics, Santiago, Ñuñoa 7770445, Chile.

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

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

⁴ Escuela de Ingeniería Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso 2340025, Chile.

* Correspondence: hcastillo@jri.cl

1. INTRODUCCIÓN

Los relaves son el descarte de la flotación que se realiza para el procesamiento de minerales sulfurados previamente triturados y molidos. En Chile, la mayoría de los relaves provienen de la minería del cobre, estos se depositan principalmente en tranques cubriendo grandes cantidades de superficie [1]. Se estima que hasta el año 2021 se han producido más de 11 billones de toneladas de relaves en Chile [2]. En Chile se generan anualmente alrededor de 530 millones de toneladas de relaves, estimándose que para el 2025, se llegarán a producir más de mil millones de toneladas al año [3].

En consecuencia, el relave de cobre es un material con una gran variedad mineralógica, destacando entre ellos la presencia de óxidos de silicio, aluminio y hierro; elementos esenciales para la formación de un geopolímero.

Los geopolímeros son una clase de material inorgánico sintetizado a partir de una fuente de aluminosilicatos con una solución alcalina de alta concentración molar que forma un aglutinante semi-amorfo con fases cristalinas [4]. Se crea tetraedros de oligómeros de aluminato (AlO^{-4}) y silicato (SiO^{-4}) cada uno unido en sus 4 (o menos) esquinas a otro tetraedro mediante la unión de átomos de oxígeno formando una estructura 3D o gel de aluminosilicatos principalmente amorfo. Sin embargo, también se tiene la formación de fases zeolíticas cristalinas. El componente amorfo del

geopolímero también se denomina gel N-A-S-H, debido a la composición final que tiene el producto de la fuente de aluminosilicato y el activador ($\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$) [5].

Sus propiedades dependerán principalmente de la fuente de silicio y aluminio utilizado, el tipo de agente alcalino, el tiempo de curado y temperatura [2-5]. Los geopolímeros se forman con frecuencia a partir de fuentes de aluminosilicatos como las cenizas volantes [6], [7], metacaolín [8], [9] y en los últimos años los relaves de la minería [10], [11], como los relaves de cobre de esta presente investigación. El geopolímero de relaves de cobre puede ser utilizado como alternativa en el relleno de caserones mineros, debido a la resistencia a la compresión uniaxial simple que pueden alcanzar desde 1 [MPa] [12] a 70 [Mpa] [8] o más.

El objetivo general de este trabajo es presentar los resultados de la investigación del análisis químico y mineralógico de las muestras de relave a ser utilizadas como geopolímeros, y como este análisis entrega información respecto a las impurezas que se generan en el proceso de formación de los geopolímeros de relaves de cobre mezclado con hidróxido de sodio (NaOH) y con silicato de sodio (Na_2SiO_3). Estos resultados apoyaran en el análisis de la síntesis de geopolímeros de relaves de flotación de cobre considerando las fases involucradas en la generación del gel N-A-S-H, si aumentan o disminuyen respectivamente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

Las muestras de relave de flotación de Cu fueron obtenidas del depósito de relaves de la minera San Pedro, ubicada en la comuna de Tiltil, Chile. La descripción del tipo de yacimiento de origen, proceso del relave muestreador, caracterización general del relave, granulometría y su clasificación USCS, límites de Atterberg y la preparación y moldes utilizados para la disolución del reactivo NaOH , se encuentra descrito en el paper de referencia [1].

Respecto a la concentración alcalina, que se define en base a la presencia de minerales cuya composición química considera la ocurrencia de Na y K. En el caso de las muestras analizadas y como lo muestran los gráficos y tablas más adelante, los minerales que contienen estos elementos son plagioclasa, feldespato potásico y biotita principalmente. En la Tabla 1, se puede observar las concentraciones de cada una de las especies mineralógicas y químicas respectivas mencionadas. En este caso hay ausencia de biotita.

Tabla 1 Análisis mineralógico y químico muestras originales.

Presencia de minerales y elementos alcalinos			
Plagioclasa (%)	Feldespato K (%)	Na (%)	K (%)
52,64	7,09	4,37	1,00

A continuación, se presentan los resultados del análisis mineralógico y químico realizado a muestras del relave utilizado, las cuales fueron analizadas mediante difracción de rayos X (DRX), ver Tabla 2.

Tabla 2 Mineralogía del relave obtenida mediante técnica DRX.

Mineralogía (DRX)		Relave %Peso
Cuarzo	SiO ₂	10,09
Plagioclasas	Na(Ca)AlSi ₃ O ₈	52,64
Clinocloro	(Mg,Fe ²⁺) ₅ Al((OH) ₈ /AlSi ₃ O ₁₀)	16,13
Ortoclasea	KAlSi ₃ O ₈	7,09
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0,92
Pirita	FeS ₂	0,30
Calcita	CaCO ₃	4,83
Epidota	Ca ₂ Fe ³⁺ Al ₂ (Si ₂ O ₇)(SiO ₄)O(OH)	7,87
Titanita	CaTiSiO ₅	0,13
Magnetita	Fe ₃ O ₄	0,00

Las especies mineralógicas identificadas corresponden mayormente a aluminosilicatos. Los minerales que presentan mayor ocurrencia en la composición del relave son: Plagioclasa – Clinocloro – Cuarzo – Epidota y Ortoclasea, similar a lo observado en investigaciones

previas en donde se usó relave de cobre para la formación de geopolímeros [13]. En la Figura 1 se puede ver la relación de abundancia de los minerales presentes.

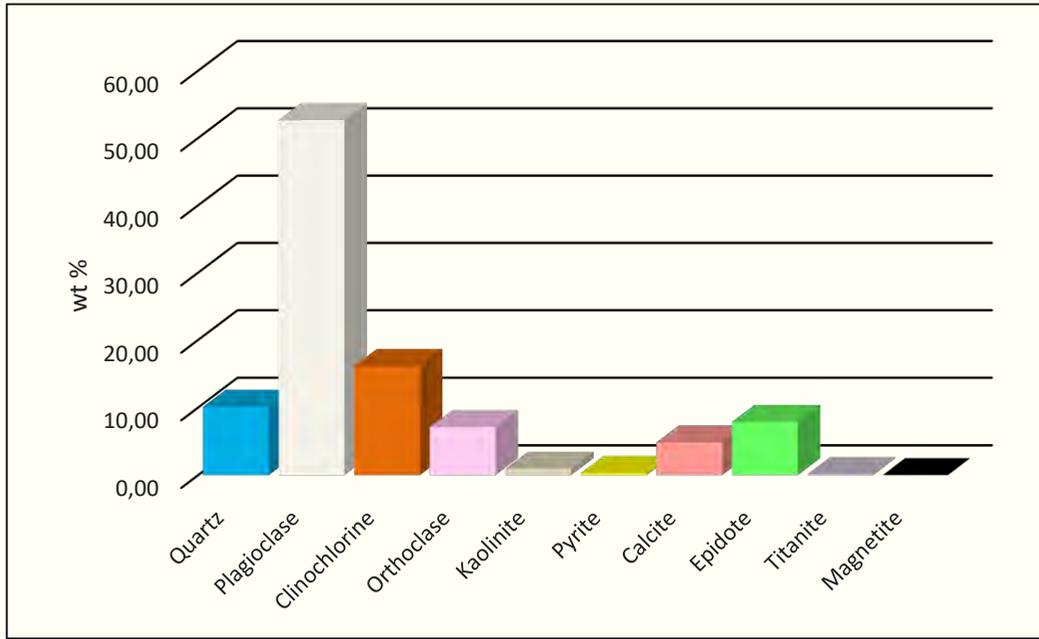


Figura 1 Composición mineralógica del relave utilizado identificada mediante DRX.

El mineral que presenta mayor ocurrencia en el relave de cobre utilizado es la Plagioclase (Figura 1), alúminosilicato cuya composición química muestra además la ocurrencia de Na y Ca en diferentes proporciones dependiendo del origen de la roca, además del oxígeno.

El análisis químico de las muestras del relave se realizó mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX). Los resultados (% peso) de este ensayo se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 Composición relave obtenida mediante técnica FRX.

Análisis FRX Relave	
Elemento	Composición (%)
Si	27,22
Al	8,32
Fe	5,73
Ca	3,57
Mg	0,70
S	0,14
Na	4,37
K	1,00
Ti	0,02
F	0,00
La	0,00
C	0,58

Análisis FRX Relave	
H	0,25
O	48,09

El análisis químico (FRX) demostró que los elementos de mayor ley coinciden con los elementos que forman Plagioclasa (Si, Al, Na y O₂).

Sin considerar la ocurrencia del oxígeno, el elemento con mayor ley en la muestra es Si, le siguen: Al – Fe – Na – Ca (Figura 2).

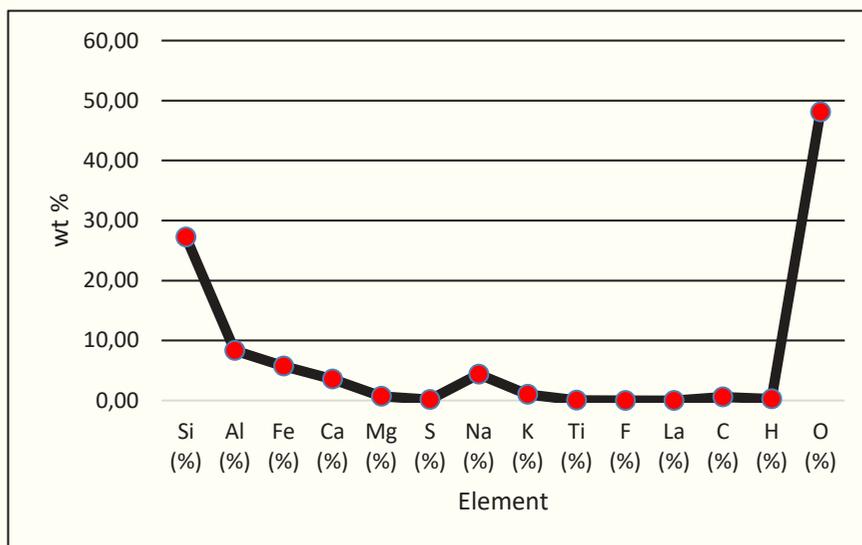


Figura 2 Composición química del relave utilizado identificada mediante FRX.

2.2 ANÁLISIS MINERALÓGICO GEOPOLIMEROS

2.2.1 TÉCNICA QEMSCAN

En la siguiente tabla, el geopolímero con 100% de NaOH, corresponde a una mezcla realizada con muestra del relave y reactivo alcalino NaOH, cocida en un horno por 7 días, la cual fue posteriormente analizada para

identificar y cuantificar las siguientes especies mineralógicas (Tabla 4) mediante análisis Qemscan. Asimismo, en la Figura 3 se presenta el gráfico correspondiente a las especies mineralógicas identificadas y cuantificadas anteriormente.

Tabla 4 Mineralogía modal del geopolímero con 100% de NaOH.

Mineralogía modal del geopolímero		Geopolímero con 100% de NaOH
Óxidos de Fe		1,63
Cuarzo	SiO ₂	8,47
Ortoclasa	KAlSi ₃ O ₈	5,24
Albita	NaAl Si ₃ O ₈	21,77
Plagioclasa	Na(Ca)AlSi ₃ O ₈	22,90
Muscovita/Sericita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	0,24
Otras Arcillas		1,64
Biotita	K(Mg, Fe, Mn) ₃ [(OH, F) ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)]	1,18
Clorita	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·(Mg,Fe) ₃ (OH) ₆	27,55
Anfíbol	Ca ₂ (Mg,Fe,Al) ₅ (Al,Si) ₈ O ₂₂ (OH) ₂	0,94
Epidota	Ca ₂ Fe ³⁺ Al ₂ (Si ₂ O ₇)(SiO ₄)O(OH)	4,58
Esfeno	CaTiSiO ₅ .	1,64
Ilmenita	Fe ²⁺ Ti ⁴⁺ O ₃	0,06
Rutilo	TiO ₂	0,25
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ .	0,07
Jarosita	KFe ³⁺ ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	0,01
Apatito	Ca ₅ (PO ₄) ₃	0,30
Calcita	CaCO ₃	1,42
Sulfuros de Cu-Fe-As		0,06
Otros Minerales de Cu		0,01
Pirita	FeS ₂	0,01

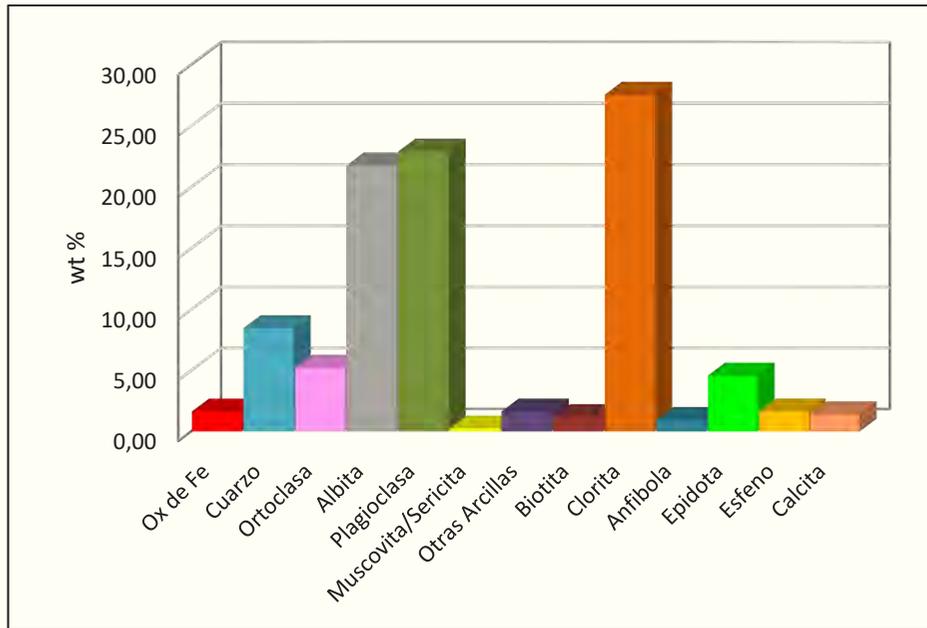


Figura 3 Muestra de geopolímero con 100% de NaOH. Composición mineralógica identificada y cuantificada mediante QEMSCAN.

2.2.2 TÉCNICA DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Para el caso del análisis químico, las muestras de geopolímeros analizadas fueron sometidas a dos procesos distintos:

- Mezcla 100-0 corresponde a un proceso de calentamiento en un horno durante 7 días, a una temperatura de 90° C, con adición de NaOH.
- Mezcla 0-100 corresponde un proceso de calentamiento en un horno durante 7 días, a una temperatura de 90° C, con adición de Na₂SiO₃.

Los resultados de los minerales identificados mediante DRX en ambas muestras, se muestran y comparan en la Tabla 5 y Figura 4. De estos resultados se pudo observar que, un periodo prolongado de curado (7 días en este caso) favoreció la formación de distintas fases cristalinas [14].

Tabla 5 Análisis mineralógico realizado a muestras de geopolímero con 100% de Na_2SiO_3 y geopolímero con 100% de NaOH .

Fase	Geopolímero con 100% de Na_2SiO_3	Geopolímero con 100% de NaOH
Cuarzo	10,07	5,47
Plagioclasas	52,58	44,99
Clinocloro	15,45	37,40
Ortoclasa	7,06	0,00
Caolinita	1,02	0,00
Pirita	0,00	0,00
Calcita	4,91	1,27
Epidota	8,73	6,91
Titanita	0,18	1,30
Magnetita	0,00	2,67

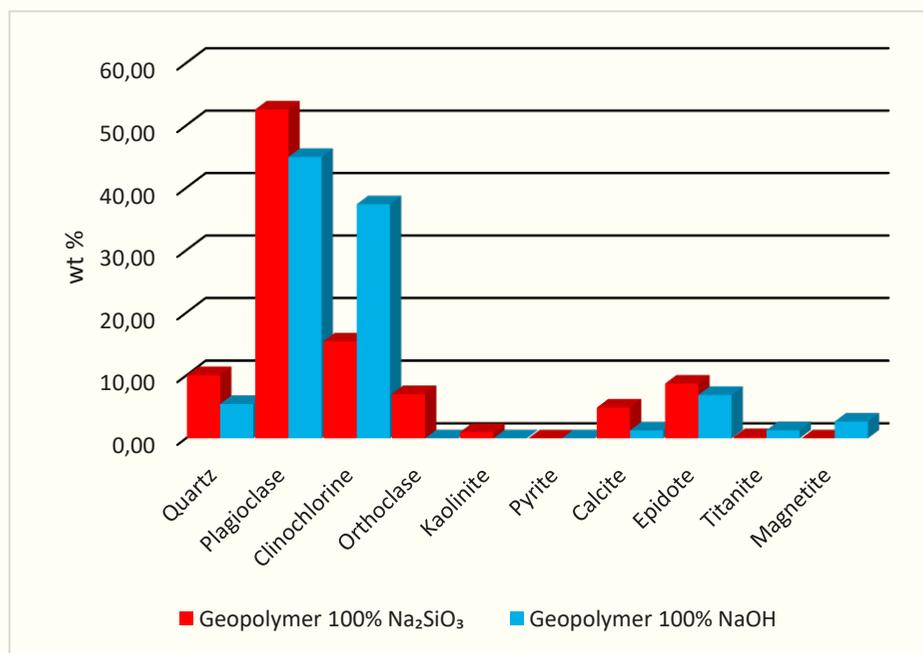


Figura 4 Comparación de las ocurrencias (% peso) de las especies mineralógicas identificadas mediante DRX de muestras de geopolímero con 100% de Na_2SiO_3 y geopolímero con 100% de NaOH .

Cabe mencionar que las fases cristalinas presentes en el relave, y que se presentan en cantidades similares en los geopolímeros, no se vieron afectadas por la activación

alcalina, lo cual sugiere una disolución incompleta de las fases cristalinas en los materiales precursores [15].

3. ANÁLISIS MINERALÓGICO COMPARATIVO (DRX) ENTRE RELAVE Y GEOPOLÍMEROS

El siguiente análisis comparativo, relacionado entre las especies mineralógicas y sus respectivas composiciones químicas corresponde a la necesidad de proyectar el comportamiento de las especies mineralógicas al proceso de confección de un geopolímero y su posterior uso, a través del análisis químico de las especies mineralógicas. Los métodos de análisis mineralógicos disponibles actualmente no reflejan completamente la distribución de los minerales al interior de un relave.

Es conocido que los minerales que componen un relave pueden presentar variaciones químicas de acuerdo al origen genético en donde fueron formados y que también es difícil conocer su procedencia desde el yacimiento madre, además de su ubicación espacial en el relave. La información mineralógica y química de un relave es fundamental para proyectar un comportamiento geotécnico. Por ejemplo, es conocida la variación que experimentan los minerales de arcilla a los cambios de humedad,

pH y temperatura, también se puede proyectar la fuerte cohesión que existe entre los átomos de algunos silicatos de origen primario.

Las asociaciones mineralógicas típicas de un yacimiento tipo pórfido cuprífero, por ejemplo, son conocidas internacionalmente, por lo tanto, pueden ser guías para buscarlas dentro de un relave y proyectar su comportamiento posterior.

En el siguiente análisis se trata de establecer una relación entre la especie mineralógica mediante la técnica DRX y uno o más elementos químicos que la caractericen mediante la técnica FRX. Por ejemplo; el cuarzo contiene sílice (Si) y oxígeno (O₂) de acuerdo a su fórmula química, (Figura 5 y Figura 6). El resumen de las especies elementales de cada mineral analizado se resume en la Tabla 6.

Las especies mineralógicas identificadas y cuantificadas por la técnica DRX a muestras de relave y geopolímeros se analizan individualmente.

3.1 CUARZO – SiO₂

El cuarzo corresponde a un mineral común en las rocas de yacimientos mineros chilenos explotados. Su composición corresponde a 46,7% de Si y 53,3% de O [16]. Si bien el cuarzo es un mineral químico casi puro, el análisis espectrográfico ha revelado que los cristales pueden contener impurezas de litio, sodio, potasio, aluminio, hierro férrico, manganeso divalente y titanio. Generalmente en el análisis espectrográfico del material precursor con los

geopolímeros, los peaks de cuarzo permanecen casi sin cambios, lo cual indica su carácter no reactivo [17].

El cuarzo aparece como constituyente importante de rocas ácidas, granitos, riolitas y pegmatitas. Este mineral es extremadamente resistente a los ataques tanto mecánicos como químicos. Se encuentra asociado comúnmente al feldespato y muscovita.

Tabla 6 Resumen de elementos y minerales identificados y cuantificados de las muestras relave sin la adición de reactivos y mezclas de geopolímeros.

Minerals	Processes	Mineral (%)	Elements											
			Si (%)	Al (%)	Fe (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	Na (%)	K (%)	Ti (%)	C (%)	H (%)	O (%)
Quartz	Copper tailing	10,09	17,67											48,09
	Geopolymer 100% Na ₂ SiO ₃	10,07	15,24											48,16
	Geopolymer 100% NaOH	5,47	7,42											47,52
Plagioclase	Copper tailing	52,64	17,67	5,74						4,37				48,09
	Geopolymer 100% Na ₂ SiO ₃	52,58	15,24	4,56						4,36				48,16
	Geopolymer 100% NaOH	44,99	7,42	2,63						3,73				47,52
Clinoclорine	Copper tailing	16,13	17,67	5,74	9,38			1,71					0,25	48,09
	Geopolymer 100% Na ₂ SiO ₃	15,45	15,24	4,56	8,29			1,62					0,24	48,16
	Geopolymer 100% NaOH	37,40	7,42	2,63	8,02			1,01					0,52	47,52
Orthoclase	Copper tailing	7,09	17,67	5,74							0,97			48,09
	Geopolymer 100% Na ₂ SiO ₃	7,06	15,24	4,56							0,79			48,16
	Geopolymer 100% NaOH	2,67	7,42	2,63							0,63			47,52
Epidote	Copper tailing	7,87	17,67	5,74	9,38	2,85							0,25	48,09
	Geopolymer 100% Na ₂ SiO ₃	8,73	15,24	4,56	8,29	2,43							0,24	48,16
	Geopolymer 100% NaOH	6,91	7,42	2,63	8,02	1,73							0,52	47,52
Pyrite	Copper tailing	0,30			9,38				0,29					
	Geopolymer 100% Na ₂ SiO ₃	< LOD			8,29				0,25					
	Geopolymer 100% NaOH	< LOD			8,02				0,30					
Kaolinite	Copper tailing	0,92	17,67	5,74									0,25	48,09
	Geopolymer 100% Na ₂ SiO ₃	1,02	15,24	4,56									0,24	48,16
	Geopolymer 100% NaOH	0,00	7,42	2,63									0,52	47,52
Magnetite	Copper tailing	0,00			9,38									48,09
	Geopolymer 100% Na ₂ SiO ₃	0,00			8,29									48,16
	Geopolymer 100% NaOH	2,67			8,02									47,52
Titanite	Copper tailing	0,13	17,67			2,85					0,54			48,09
	Geopolymer 100% Na ₂ SiO ₃	0,18	15,24			2,43					0,45			48,16
	Geopolymer 100% NaOH	1,30	7,42			1,73					0,34			47,52
Calcite	Copper tailing	4,83				2,85						0,58		48,09
	Geopolymer 100% Na ₂ SiO ₃	4,91				2,43						0,59		48,16
	Geopolymer 100% NaOH	1,27				1,73						0,15		47,52

Respecto al enlace silicio – oxígeno del cuarzo, éste tiene electrones compartidos, y la energía total de enlace sigue estando distribuida por igual entre sus cuatro oxígenos más cercanos. Por ello, se puede indicar que la fuerza de un enlace de silicio – oxígeno es justamente igual a la mitad de la energía total del enlace disponible del ión oxígeno. Cada ión oxígeno puede unirse a otro silicio y entrar en otra agrupación tetraédrica, en la que estos grupos están unidos por el oxígeno compartido, formando una diversidad de configuraciones estructurales. Si dos tetraedros adyacentes comparten un oxígeno, los cuatro oxígenos son compartidos de la misma manera, se tiene como resultado estructuras con un alto grado de conexión, como es la estructura del cuarzo. A los enlaces también

se les llaman polimerización y esta capacidad de “polimerización” es el origen de la gran variedad existente de estructuras de silicatos. Entre las condiciones que regulan el origen de los silicatos minerales y el grado de polimerización, existe una relación con la temperatura, cuanto más elevada es la temperatura, más bajo será el grado de polimerización y viceversa. Es decir, el cuarzo a bajas temperaturas es estable químicamente, a medida que se aumente la temperatura, irá disminuyendo el grado de polimerización y por ende se vuelve más inestable químicamente. Esta relación está sujeta a otros factores externos como la presión, pH y concentración de los reactivos, lo cual se ve evidenciado en el gráfico de a continuación.

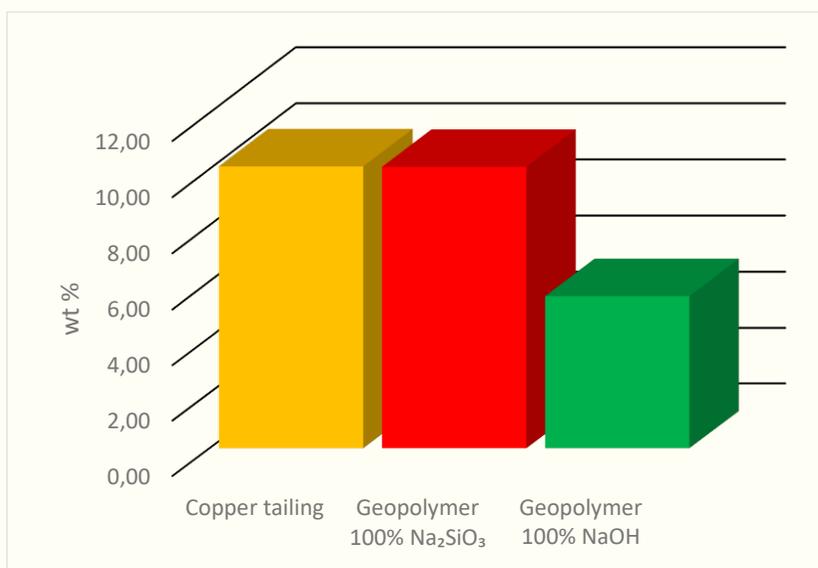


Figura 5 Comparación ocurrencia de cuarzo mediante DRX en relave y geopolímeros creados.

En la Figura 5 es posible notar que la ocurrencia de cuarzo disminuye en los geopolímeros y más aún en aquel con reactivo NaOH, lo cual se confirma con el análisis químico (Figura 6), en el cual se observa la misma variación y tendencia. Debido a que la fase de cuarzo disminuye en el geopolímero con NaOH, se deduce que este mineral participa en la reacción de

geopolimerización, lo cual es similar a lo observado por Elmahdoubi [18], proporcionando Si para la formación del gel N-A-S-H [19]. No obstante, se necesitan más pruebas para poder establecer como guía la variación del comportamiento del Si.

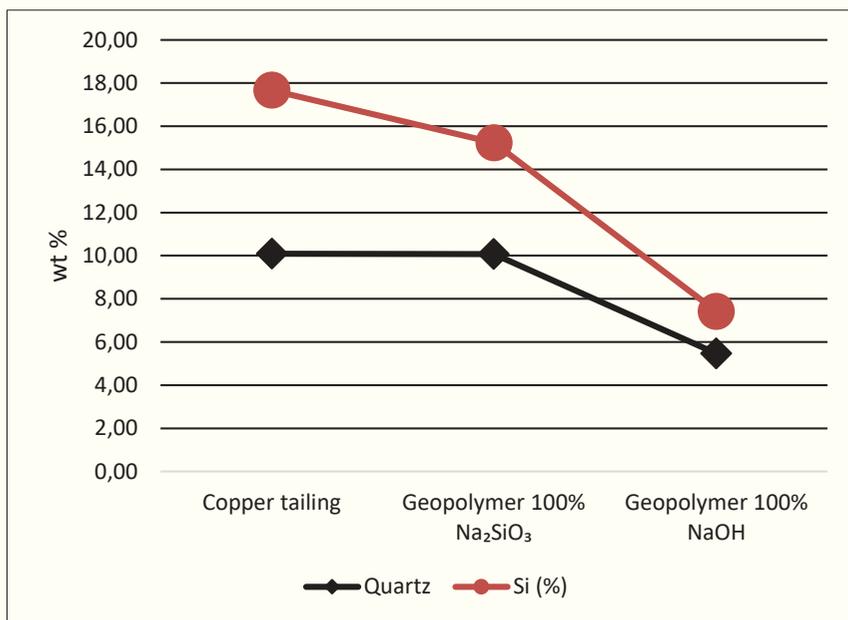


Figura 6 Comparación ocurrencia de Cuarzo y Si en muestras de relave y geopolímeros.

3.2 PLAGIOCLASA – NaAlSi₃O₈

Plagioclasa también corresponde a un aluminosilicato (Si – Al) de Na y Ca, común en las rocas de yacimientos chilenos explotados, en este caso corresponde a la especie de mayor ocurrencia en las muestras analizadas. Las plagioclasas corresponden a una serie de feldspatos calcosódicos que forman una serie isomorfa cuya composición varía desde albita pura (Si₃AlO₈Na) a Anortita pura (SiAl₂O₈Ca), que representan el

extremo sódico y cálcico, respectivamente. Esta variación en la serie puede ser afectada por factores tales como pH y temperatura, lo cual se ve evidenciado en la Figura 7.

La serie se divide en 6 isomorfos, de acuerdo a las cantidades relativas de Na (albita) y Ca (Anortita), tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7 Serie de las plagioclasas.

Isomorfo	% Albita (Si ₃ AlO ₈ Na)	% Anortita (Si ₂ Al ₂ O ₈ Ca)
Albita	100-90 (Na)	0-10 (Ca)
Oligoclasa	90-70 (Na)	10-30 (Ca)
Andesina	70-50 (Na)	30-50 (Ca)
Ladradorita	50-30 (Na)	50-70 (Ca)
Bytownita	30-10 (Na)	70-90 (Ca)
Anortita	10-0 (Na)	90-100 (Ca)

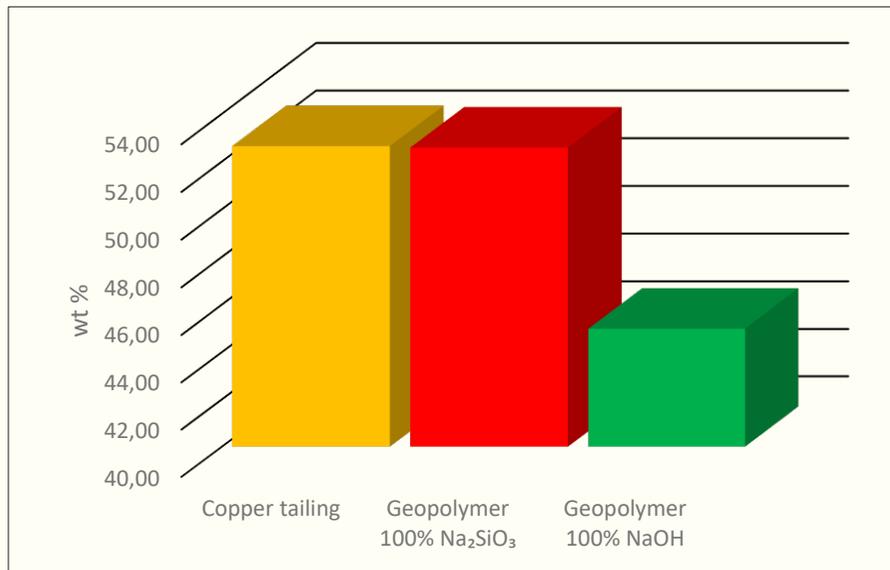


Figura 7 Comparación ocurrencia de plagioclase mediante DRX en relave y geopolímeros creados.

En la Figura 7 y Figura 8 es posible notar que la ocurrencia de plagioclase disminuye en las muestras

procesadas con NaOH al igual que los elementos Na, Al y Si.

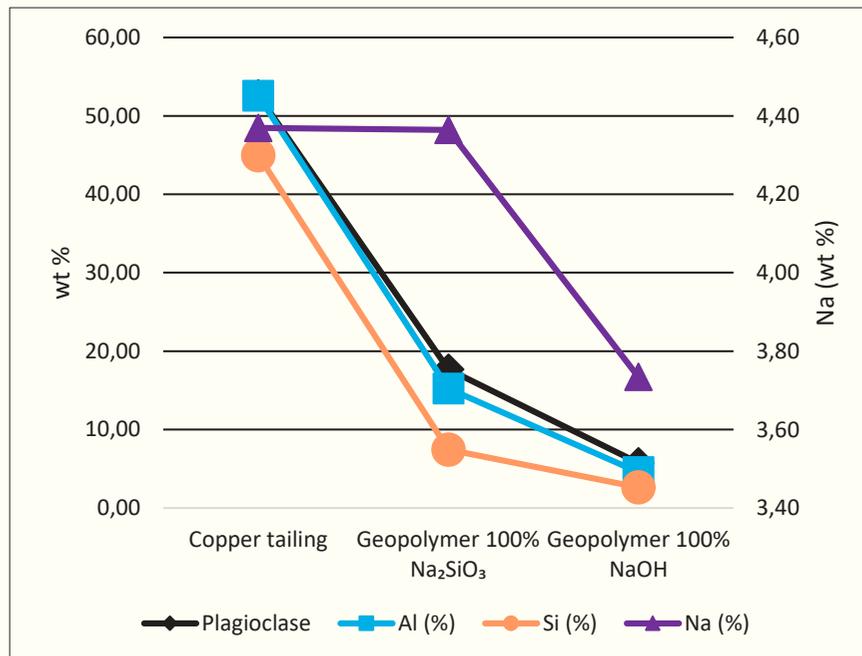


Figura 8 Comparación ocurrencia de Plagioclase y Al, Si y Na en relave y geopolímeros creados.

La disminución de elementos como Na, Si y Al, puede llevar a la conclusión de formación de minerales de arcilla en el proceso con NaOH de las muestras, tal como se observa en el análisis QEMSCAN de la Figura 3. Por otro lado, una razón Na/Si mayor puede producir peaks cristalinos no deseados durante el análisis espectrográfico, los cuales son de intensidades considerables [20].

Dado que estos minerales son comunes en las rocas y relaves chilenos, pueden ser utilizados como minerales guías en un proceso de fabricación de geopolímeros. No obstante, se necesitan más pruebas y análisis químicos más específicos, para controlar la variabilidad de los elementos químicos.

Respecto a la disminución de plagioclasa durante el proceso con NaOH de la muestra, es importante destacar que el aluminio es trivalente y posee un número normal de coordinación de 4 con el oxígeno. Sin embargo, la relación de radios está cercana al límite superior de coordinación de 4, permitiendo que también sea posible la coordinación 6, siendo tan estable como la coordinación de 4. Esta capacidad de poder desempeñar un doble papel en los silicatos minerales es lo que destaca al aluminio en la cristalografía de los silicatos. Cuando el aluminio coordina cuatro oxígenos dispuestos en los vértices de un tetraedro regular, el tetraedro resultante ocupa el mismo espacio que un tetraedro de silicio y oxígeno con la diferencia que este puede enlazarse con otros tetraedros de silicio en grupos polimerizados. Por otra parte, el aluminio en coordinación 6 puede servir para ligar los grupos tetraédricos mediante enlaces iónicos simples mucho más débiles que los que unen los iones en los tetraedros. Por este motivo, se hace posible que el aluminio tantos en las estructuras de los silicatos como en las posiciones tetraédricas, sustituyen al silicio como en las posiciones octaédricas con coordinación 6, estableciendo relaciones de solución sólida con el magnesio y el hierro divalente y trivalente.

El magnesio, hierro divalente, hierro trivalente, manganeso divalente, aluminio y titanio tetravalente, todos ellos tienen tendencia a entrar en las estructuras

de los silicatos, en coordinación 6 con respecto al oxígeno. Aunque todos ellos tienen las mismas exigencias espaciales y, por lo tanto, tienden a ocupar posiciones atómicas del mismo tipo. Lo que se traduce en la generación de impurezas en la matriz del geopolímero. Como regla fundamental, se debe considerar la neutralidad eléctrica, las relaciones de solución sólida entre iones de valencias tan distintas, crea un problema de compensación eléctrica. Así, si un catión tetravalente es sustituido por un catión trivalente (ejemplo titanio o hierro férrico) se obtendrá una ganancia de una carga positiva, en algún lugar de la matriz debe ocurrir otra sustitución en la que se pierda la carga positiva o se gane una carga negativa.

El calcio y el sodio son cationes de gran tamaño con carga débil, ocupan por lo general, posiciones que tienen coordinación 8 o cúbica con relación al oxígeno. Cuando se realiza una sustitución del calcio divalente por el sodio monovalente, se crea un desequilibrio eléctrico que debe ser solucionado por una sustitución acoplada en otro lugar de la estructura. Por ejemplo, por cada sustitución de un ion aluminio a un ion silicio, se obtiene una pérdida de la carga positiva, un ion calcio sustituye a un ion sodio en una posición de coordinación 8, se va a conservar el equilibrio eléctrico. En otras palabras, así es como ocurre la formación del gel N-A-S-H y de las impurezas obtenidas según el Qemscan realizado al geopolímero.

En bases a estudios [2] se identificó que las características finales del geopolímero dependen de su formación química, donde los elementos químicos Na, Al, Si y H₂O juegan un papel fundamental en la generación del gel N-A-S-H que en consecuencia domina las propiedades químicas del geopolímero. Por otra parte, es importante enfocar los estudios en aquellos minerales que representan una influencia en las características de los geopolímeros, ya que en estudios como [3] se ha demostrado que la resistencia a la compresión de los geopolímeros depende principalmente de su composición química, parámetro fundamental a considerar como fuente de aluminosilicatos.

3.3 CLINOCLORO - $(Mg,Fe^{2+})_5Al((OH)_8/AlSi_3O_{10})$

Corresponde a un filosilicato del grupo de las cloritas, en que la presencia de Mg y Fe puede variar. No es abundante en las rocas chilenas, y puede formar parte de los minerales de alteración de una roca mineralizada. Usualmente corresponde a minerales de alteración

hidrotermal, por lo general, de los silicatos que contienen aluminio, hierro ferroso y magnesio, tales como piroxenos, anfíboles, biotita, granate. La ocurrencia de este mineral en las muestras se presenta a continuación (Figura 9).

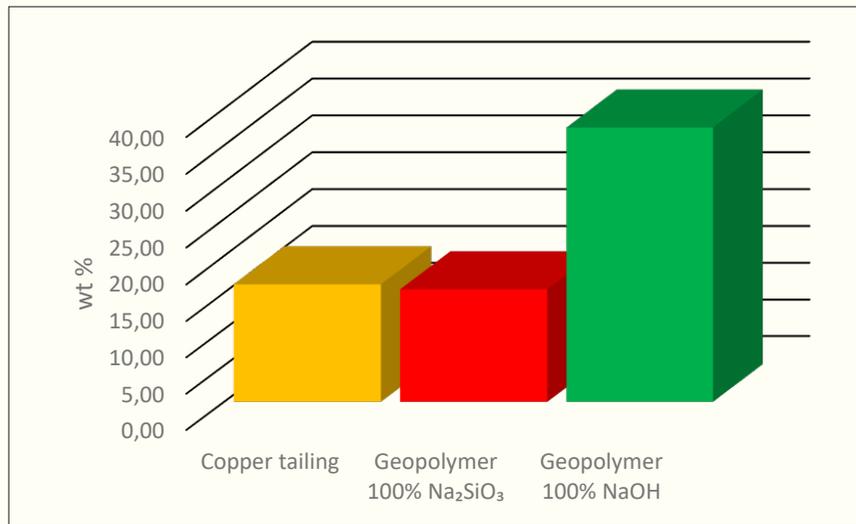


Figura 9 Comparación ocurrencia de Clinoclora mediante DRX relave y geopolímeros creados.

El aumento de la ocurrencia de Clinoclora en la muestra procesada con NaOH, puede ser debido a expensas de la liberación de elementos aportados por aquellos

minerales que disminuyeron sus ocurrencias, como es el caso del Mg y Fe, tal como se observa en la Figura 10.

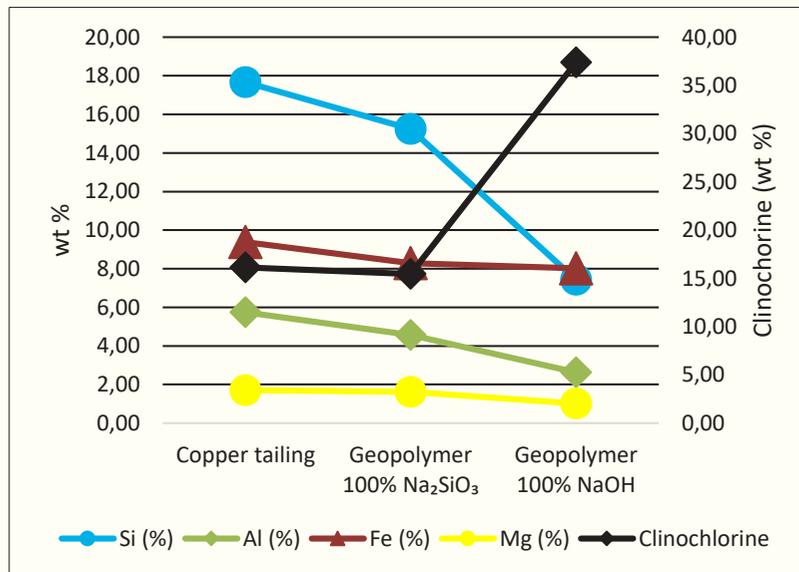


Figura 10 Comparación ocurrencia de Clinoclora y Si, Al, Fe y Mg en relave y geopolímeros creados.

Clinocloro muestra un aumento importante de su ocurrencia en el geopolímero con NaOH, pero los elementos que componen el mineral muestran una disminución y no un aumento como podría esperarse. Por esta razón es necesario realizar más pruebas con análisis más específicos (como Qemscan e ICP), que permitan identificar con mayor certeza la exacta composición química del Clinocloro en este caso.

La aparición de clinocloro se puede justificar a partir del aumento de temperatura generado por la reacción de la fuente de aluminosilicatos con hidróxido de sodio (NaOH), desestabilizando la polimerización del cuarzo y de la plagioclasa. En la termodinámica, según la segunda ley dice que la entropía del universo siempre aumenta para un proceso espontáneo. Un proceso espontáneo es aquel que ocurre sin el suministro de energía externa, de modo que puede ocurrir en una reacción rápida o lenta, esto depende de la cinética o tasa de reacción, ambos efectos no están relacionados. Para conocer cómo el proceso será espontáneo se debe conocer cómo cambia la entropía en el universo (recordar que la segunda ley define un universo, sistema y alrededores). Sin embargo, esto en la práctica no es posible investigar todo el universo. Por lo que, se define una nueva cantidad termodinámica llamada energía libre de Gibbs (G).

La energía libre de Gibbs se produce cuando el proceso está a temperatura y presión constante, es decir, cuando no se produce un cambio de fase. Cuando usamos la

energía libre de Gibbs para determinar la espontaneidad de un proceso, nos ocupamos solamente de los cambios en G, más que de su valor absoluto. El cambio de la energía libre de Gibbs en un proceso se escribe como ΔG , y es la diferencia entre la energía libre de Gibbs de los productos, G_{final} , y la energía libre de Gibbs de los reactivos, G_{inicial} . La posibilidad de calcular la energía libre de Gibbs cuando se está tratando de diseñar experimentos en laboratorio, sirve para conocer en qué sentido ocurrirá la reacción a una temperatura en particular. Se prioriza siempre la formación de los productos, es decir, ΔG negativo. En este caso basándonos en los resultados, podríamos indicar que los productos formados son la clorita, magnetita y titanita a partir de los reactivos como el cuarzo, plagioclasas, ortoclasas y el reactivo hidróxido de sodio (NaOH).

Con la ayuda del programa HSC 5, se pudieron obtener las energías libres de Gibbs desde los 0°C hasta los 2000°C para los reactivos y productos involucrados en la reacción, estos son presentados en Figura 11 en donde se puede apreciar que los elementos más “espontáneos” según su energía libre de Gibbs son la clorita con magnesio como elemento principal y luego la clorita con hierro divalente como su elemento primario. Esto indica que si se puede obtener la formación de clorita a partir de cuarzo, ortoclasas y plagioclasas a la temperatura de 90°C con la cual se curaron los geopolímeros. La clorita se puede formar por la alteración hidrotermal de la biotita.

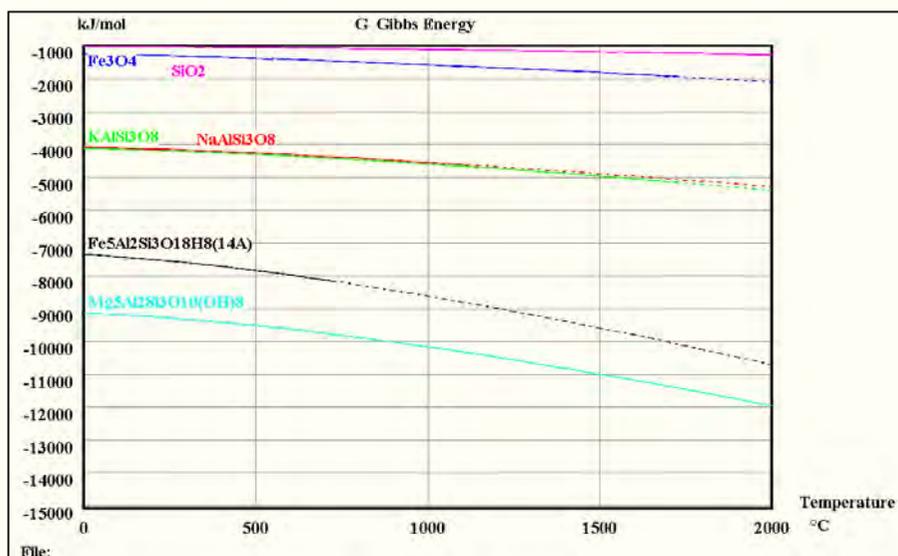


Figura 11 Energía libre de Gibbs de los elementos presentes en la mezcla de geopolímero con 100% de NaOH.

3.4 ORTOCLASA – $KAlSi_3O_8$

Corresponde a un mineral formador de roca y también es producto del proceso de alteración hidrotermal en un yacimiento mineralizado. Silicato aluminico potásico de composición 16,9% K_2O , 18,4% de Al_2O_3 y 64,7% de SiO_2 . Se le conoce como feldespato potásico (ortoclasa, microclina, sanidina). El potasio en su

estructura puede ser reemplazado por sodio hasta en un 100%, o una parte por bario.

Respecto a su alteración, cuando se somete a la acción de agua carbónica, la ortoclasa se altera formando un carbonato de potasio soluble y como residuo una mezcla de mineral de arcilla o sílice, o moscovita y sílice.

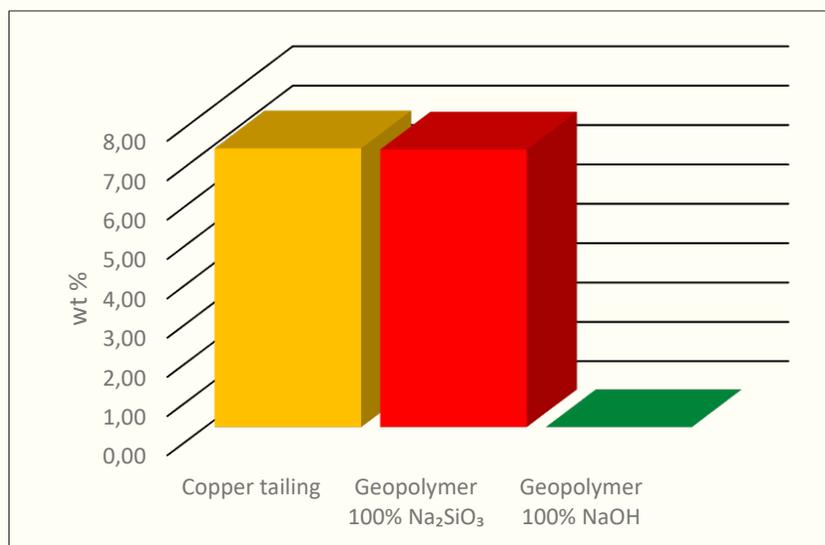


Figura 12 Comparación ocurrencia de Ortoclasa mediante DRX en relave y geopolímeros creados.

La ocurrencia de ortoclasa en el relave alcanza 7% y en el geopolímero con NaOH, desaparece (Figura 12). Lo mismo sucede con la presencia de Al y elementos como el Si y K disminuyen su concentración (Figura 13).

Al igual que la Plagioclasa, la Ortoclasa también muestra una disminución directa con los componentes que la forman. También se necesitan más pruebas y análisis para confirmar estas conclusiones.

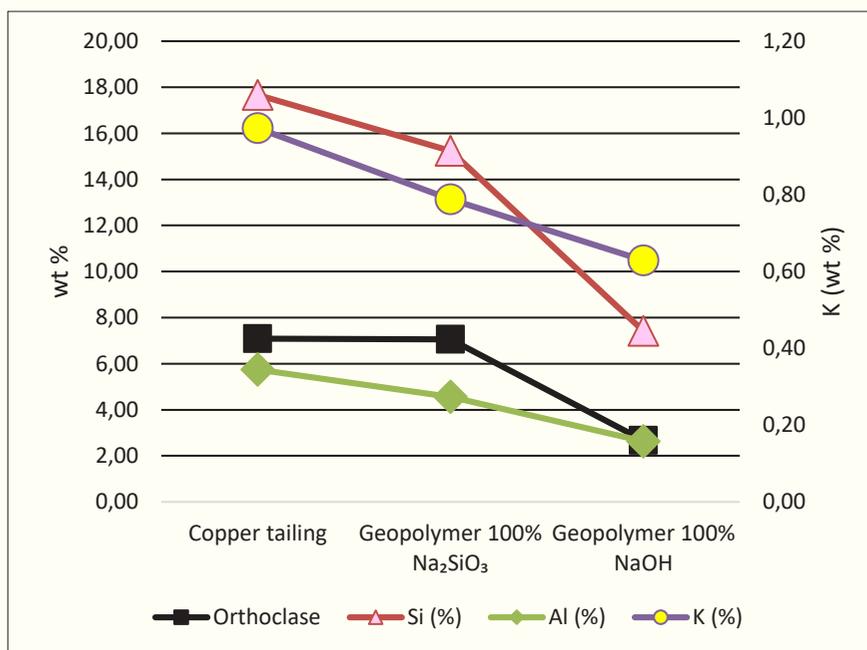


Figura 13 Comparación ocurrencia de Ortoclasa y Si, Al y K en relave y geopolímeros creados.

3.5 EPIDOTA – $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$

La epidota es un sorosilicato compuesto de silicato de aluminio y hierro y calcio hidratado. La relación entre el aluminio y el hierro varía de 6:1 a 3:2. Epidota corresponde a un mineral de alteración (hidrotermal), principalmente en los yacimientos minerales y también representa eventos metamórficos de bajo grado. Usualmente altera a los minerales como el feldespato, piroxeno, anfíbol y biotita; con frecuencia asociada a la

clorita y en las zonas propiliticas (marginales) de los yacimientos mineralizados.

La concentración de epidota en el relave se ve un poco superior a lo que aparece en las rocas mineralizadas (Figura 14).

A partir de la Figura 15, es posible observar que la ocurrencia de Ca también disminuye en el geopolímero procesado con NaOH.

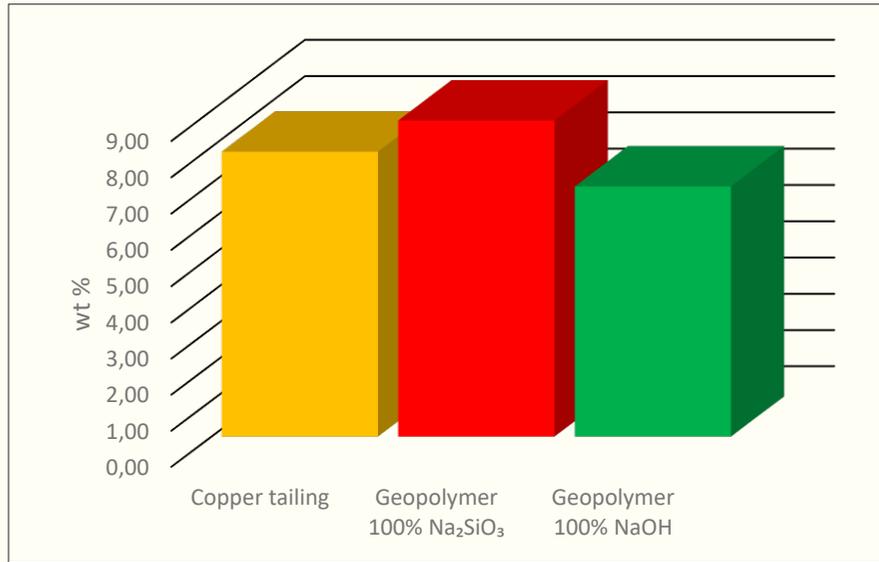


Figura 14 Comparación ocurrencia de Epidota mediante DRX en relave y geopolímeros creados.

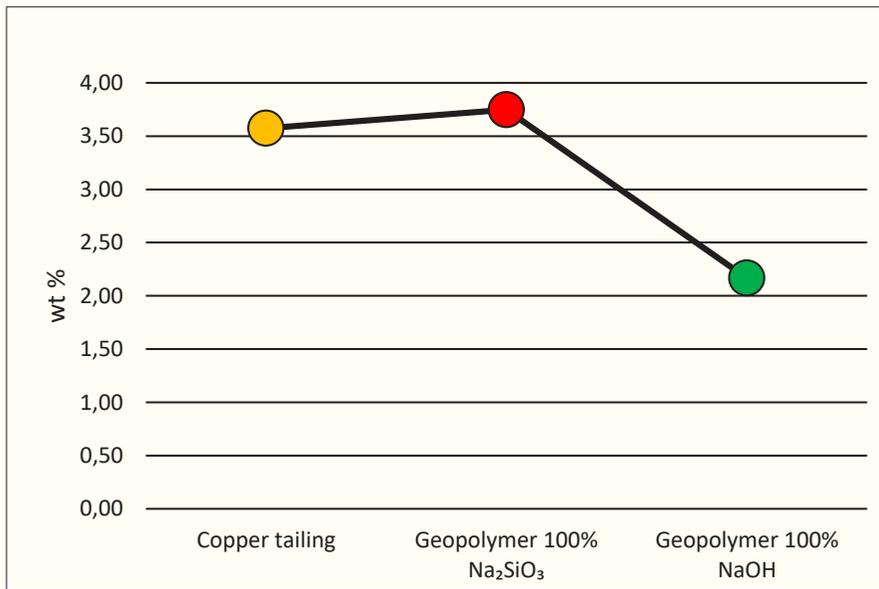


Figura 15 Comparación ocurrencia de Ca mediante FRX en relave y geopolímeros creados.

3.6 PIRITA – FeS₂

Pirita es un bisulfuro de Fe común en los yacimientos mineralizados y su composición es 46,6% de Fe y 53,4% de S. Puede contener pequeñas cantidades de níquel, cobalto y arsénico, frecuentemente con pequeñísimas cantidades de oro y cobre, como trazas (impurezas microscópicas). Respecto a la alteración de este mineral, se altera fácilmente a óxidos de hierro, comúnmente a limonita.

En este caso su ocurrencia es bastante menor en el relave y baja su ocurrencia por debajo del límite de detección, en ambos geopolímeros (Figura 16 y Figura 17).

La baja ocurrencia de pirita en el relave puede estar dentro del valor de error de detección del método. El S también baja su ocurrencia al mínimo (<LOD).

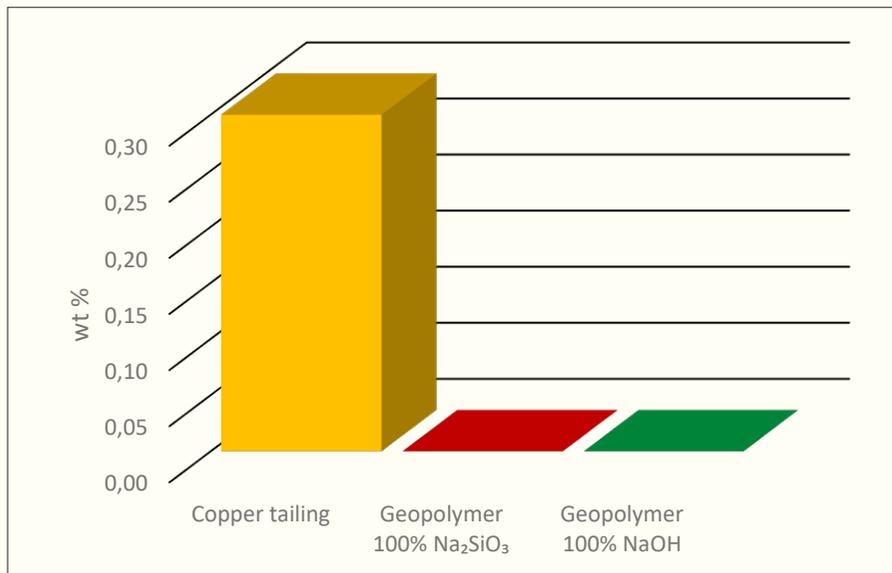


Figura 16 Comparación ocurrencia de Pirita mediante DRX en relave y geopolímeros creados.

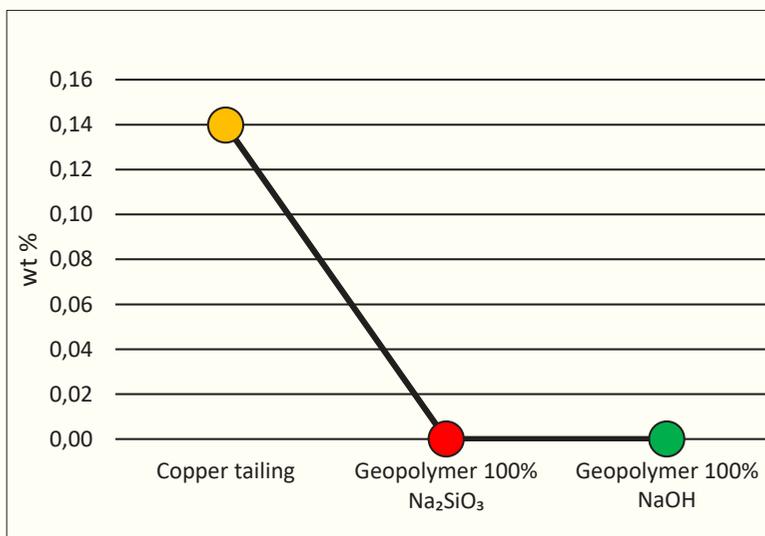


Figura 17 Comparación ocurrencia de S mediante FRX en relave y geopolímeros creados.

3.7 CAOLINITA – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Caolinita corresponde a un mineral del grupo de las Arcillas, que son en esencia silicatos aluminicos hidratados. La caolinita presenta una composición de 39,5% de Al_2O_3 , 46,5% de SiO_2 y 14% de H_2O .

Mineral de origen secundario que se produce por la alteración hidrotermal de los feldespatos (plagioclasa y ortoclasa), por lo que es posible encontrar este mineral con los feldespatos en rocas meteorizadas y mineralizadas.

En general, los minerales de arcilla el aluminio puede estar parcialmente sustituido por magnesio o hierro y los álcalis y alcalinotérreos pueden estar presentes como constituyentes esenciales.

Muestra un leve aumento en el geopolímero procesado con Na_2SiO_3 y baja su ocurrencia en el geopolímero procesado con NaOH (Figura 18).

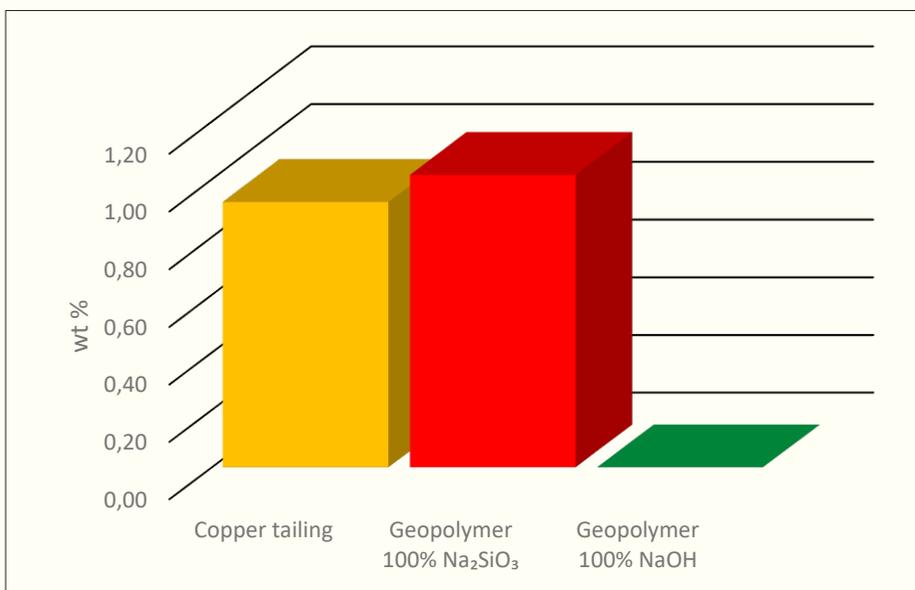


Figura 18 Comparación ocurrencia de Caolinita mediante DRX en relave y geopolímeros creados.

3.8 MAGNETITA – Fe_3O_4

Corresponde a un óxido de Fe, con propiedades magnéticas. La composición de este mineral es 72,4% de Fe y 27,6% de O. Si bien por lo general su composición responde a su fórmula química, algunos

análisis dan un pequeño porcentaje de magnesio y manganeso divalente.

En este caso, ha aumentado su ocurrencia en el geopolímero procesado con NaOH (Figura 19).

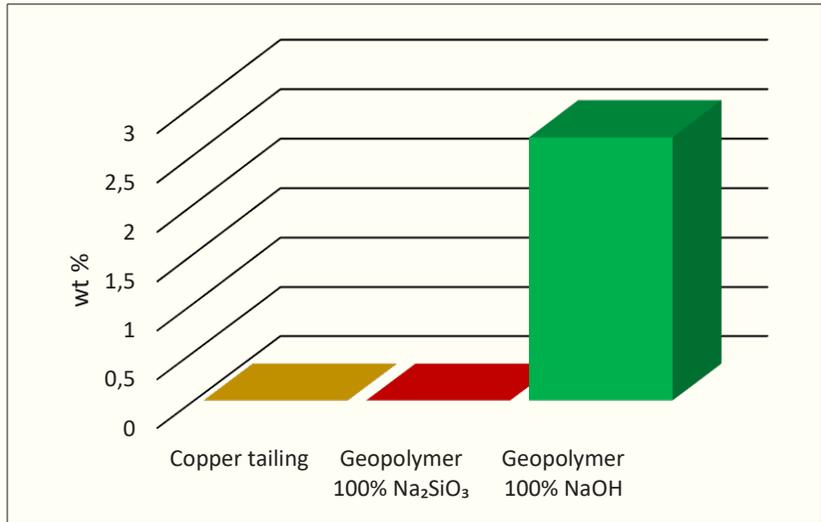


Figura 19 Comparación ocurrencia de Magnetita mediante DRX en relave y geopolímeros creados.

3.9 TITANITA – CaTiSiO₅

Corresponde a un mineral accesorio de las rocas ígneas, hallándose en pequeños cristales en los granitos, granodioritas, dioritas y sienitas de yacimientos chilenos y su ocurrencia es baja por lo general (<1%). En este caso su ocurrencia aumentó en los geopolímeros.

Este mineral corresponde a un nesosilicato, compuesto en un 28,6% en CaO%, 40,8% TiO₂ y 30,6% de SiO₂. El hierro en este mineral usualmente se encuentra en pequeñas cantidades.

Usualmente se encuentra asociado a la clorita, y también con menas de hierro, piroxeno, anfíbol, circón, apatito, feldespato y cuarzo.

Respecto a la ocurrencia de este mineral en las muestras, se evidencia un aumento de éste en el geopolímero procesado con NaOH. Asimismo, es posible observar un aumento de las leyes de Ti (Figura 20 y Figura 21).

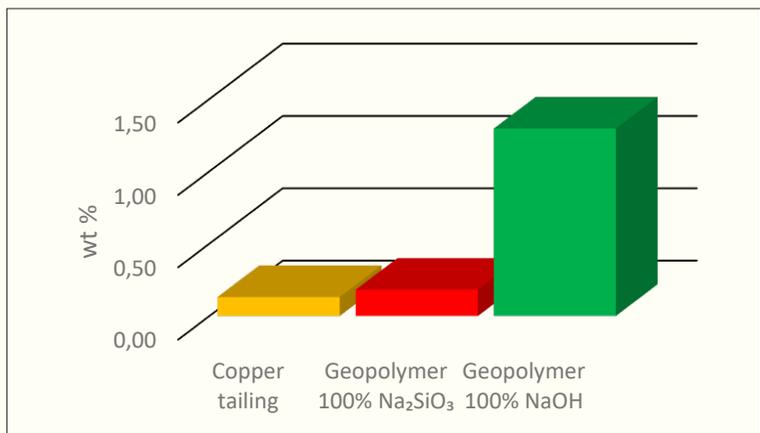


Figura 20 Comparación ocurrencia de Titanita mediante DRX en relave y geopolímeros creados.

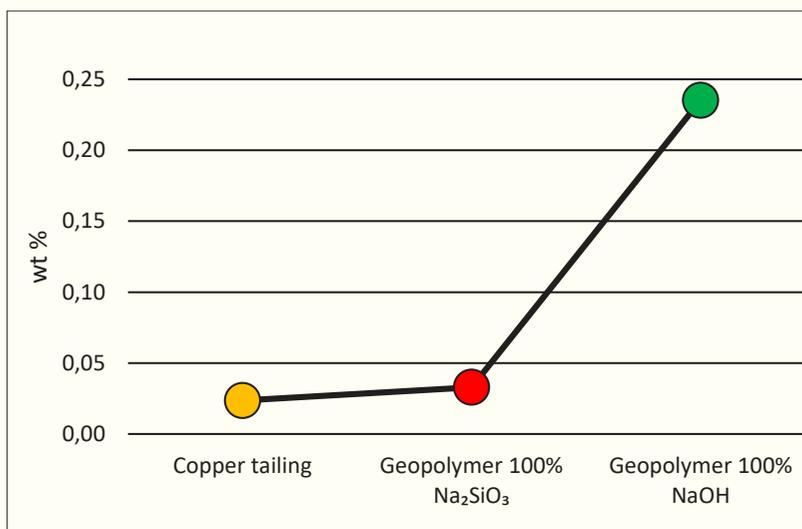


Figura 21 Comparación de leyes de Ti, en muestras de relave y geopolímeros creados.

3.10 CALCITA – CaCO₃

Calcita es un carbonato de Ca y su composición consta de 56% CaO y 44% CO₂. El manganeso y hierro ferroso pueden sustituir al calcio, mientras que el magnesio lo sustituye sólo en pequeñas cantidades. Este mineral es común en las zonas de alteración hidrotermal (zona propilítica) de los yacimientos mineralizados, ya que es

un mineral secundario en las rocas ígneas como producto de descomposición de silicatos cálcicos. Respecto a la ocurrencia de este mineral en las muestras, se evidencia una disminución de éste en el geopolímero procesado con NaOH (Figura 22). Asimismo, es posible observar una disminución en la ocurrencia de C (Figura 23).

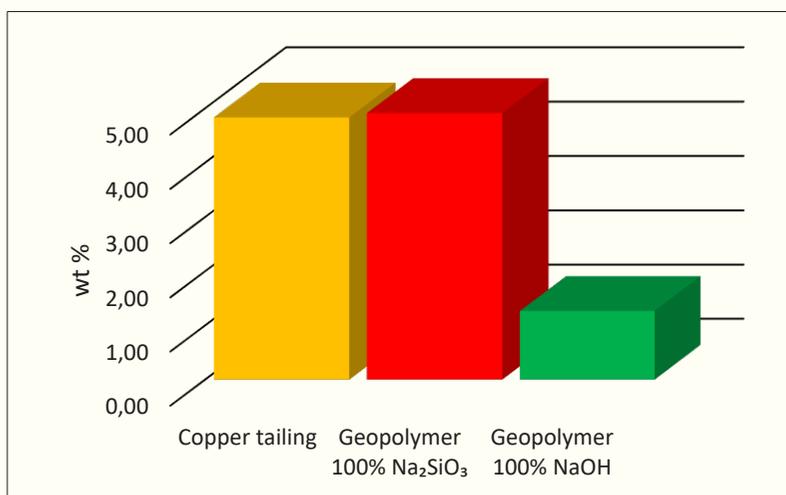


Figura 22 Comparación ocurrencia de Calcita mediante DRX en relave y geopolímeros creados

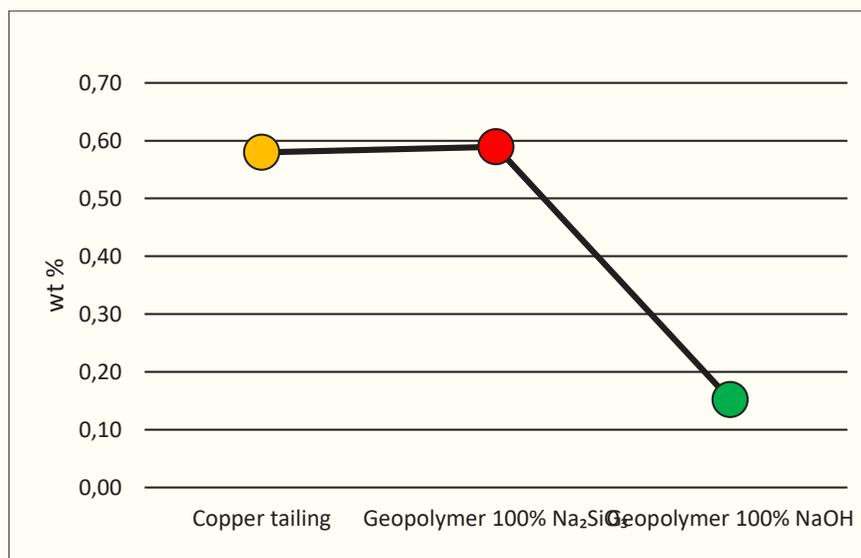


Figura 23 Comparación ocurrencia de C mediante FRX en relave y geopolímeros creados.

Respecto a los elementos formadores de la calcita, el calcio, al igual que el sodio, es un catión de gran tamaño con carga débil, ocupan por lo general, posiciones que tienen coordinación 8 o cúbica con relación al oxígeno. Cuando se realiza una sustitución del calcio divalente por el sodio monovalente, se crea un desequilibrio eléctrico que debe ser solucionado por una sustitución acoplada en otro lugar de la estructura. Por ejemplo, por

cada sustitución de un ion aluminio a un ion silicio, se obtiene una pérdida de la carga positiva, un ion calcio sustituye a un ion sodio en una posición de coordinación 8, se va a conservar el equilibrio eléctrico. En otras palabras, así es cómo ocurre la formación del gel N-A-S-H y de las impurezas obtenidas según el análisis Qemscan realizado al geopolímero.

4 DISCUSIÓN

En estudios como el de Umaña et al., [21], se describe la disolución de cuarzo mediante su reacción con el reactivo NaOH a 150 °C. Si bien para este estudio en particular, el componente inicial corresponde a cenizas volantes, compuestas por vidrio, cuarzo y mullita, se describe la disolución unitaria del mineral cuarzo, que también encontramos en nuestro relave en estudio, por tanto, basándonos en esta experiencia previa, es posible afirmar que efectivamente el cuarzo se ve afectado ante la presencia de este reactivo, lo cual es evidente al observar la Figura comparativa número 5. Asimismo, tal como se expresó anteriormente, en estudios como el de Elmahdoubi [18], se observa como el cuarzo puede proporcionar Si para la formación del gel N-A-S-H [19], explicando este decrecimiento tanto de Si y cuarzo en los gráficos comparativos mostrados anteriormente.

Respecto a la plagioclasa, es posible observar que en general su concentración se ve disminuida en los relaves tratados con los distintos reactivos. En bases a estudios [2] se identificó que las características finales del geopolímero dependen de su formación química, donde los elementos químicos Na, Al, Si y H₂O juegan un papel fundamental en la generación del gel N-A-S-H, siendo estos primeros elementos, compuestos principales de la plagioclasa, explicando así su disminución en los análisis mineralógicos comparativos. Asimismo, en los relaves tratados con los reactivos, es posible observar un aumento del clinocloro, mineral que pertenece al grupo de las cloritas, las cuales son un mineral de alteración hidrotermal de los minerales como la plagioclasa.

Si bien respecto a la magnetita en esta etapa inicial no es posible explicar de forma clara su aumento en los relaves con reactivo NaOH, éste aumento si es concordante con el aumento de clinocloro, ya que ambos minerales necesitan una mayor proporción de Fe y Mg; elementos que, al parecer, habrían participado en la formación de estos nuevos minerales.

Para el caso de la calcita, tal como fue expresado anteriormente, este mineral puede ser un aporte para las impurezas generadas en el gel N-A-S-H, explicando así su disminución en los relaves tratados mediante reactivos. Asimismo, al comparar la variación de calcita y titanita en los distintos relaves muestreados, es posible observar que a medida que la calcita disminuye, la titanita aumenta, lo cual es concordante con la estructura química de la titanita, la cual tiene Ca en su estructura cristalina.

Respecto a los minerales como piritita y caolinita, cuya ocurrencia se encuentra en los límites de cuantificación

de la técnica utilizada, las que pueden no ser tan precisas en su detección y tal como fue expresado anteriormente, por lo que hacer una conclusión respecto a su variación en los relaves tratados con reactivos puede llevar a conclusiones erróneas.

Los análisis químicos realizados (DRX) se realizaron con el objeto de identificar cada una de las especies mineralógicas cristalinas que componen un depósito de relaves, esta etapa corresponde a una etapa inicial en el estudio de la mineralogía de un depósito de relaves. Existen otros tipos de análisis mineralógicos más específicos (infrarrojo y microsonda) que permitirían una mejor cuantificación (% peso) de cada una de estas especies mineralógicas identificadas previamente por DRX. Por lo tanto, es necesario considerar una segunda etapa, en la cual se puede obtener una clara noción de la cantidad en las que se encuentran cada uno de estos minerales.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es necesario realizar mayor número de pruebas y análisis para obtener minerales diagnósticos que puedan proyectar el comportamiento de un geopolímero.

Cuantificar mediante DRX la ocurrencia de minerales es impreciso, dado que esta técnica es más recomendada para identificar especies mineralógicas con cristalinidad bien desarrollada.

La cuantificación de las especies minerales es más precisa con análisis mediante Qemscan.

Se recomienda realizar análisis Qemscan a los relaves para así tener una mayor precisión en la cuantificación de los minerales.

También se recomienda hacer análisis químico de los elementos que forman los minerales componentes de los relaves, con el objeto de tener el rango de variabilidad y de leyes confiables que permitan hacer proyecciones del comportamiento de determinadas especies minerales, en la formación de un geopolímero. Determinar leyes críticas de algunos elementos o minerales, que permitan predecir el comportamiento geomecánico de un geopolímero.

6 REFERENCIAS

- [1] H. Castillo *et al.*, “Methodologies for the Possible Integral Generation of Geopolymers Based on Copper Tailings,” *Minerals*, vol. 11, no. 12, p. 1367, 2021, doi: 10.3390/min11121367.
- [2] H. Castillo *et al.*, “Factors affecting the compressive strength of geopolymers: A review,” *Minerals*, vol. 11, no. 12, pp. 1–28, 2021, doi: 10.3390/min11121317.
- [3] H. Castillo, H. Collado, M. Vesely, P. Garrido, and S. Palma, “State of the art of geopolymers : Review.”
- [4] A. P. Irene, T. M. Tania, and L. G. María José, *Técnicas de perforación , muestreo y caracterización para la recuperación de elementos de valor desde relaves*. 2019.
- [5] F. Yang, “Geopolymerization of Copper Mine Tailings,” *Dep. Mining, Geol. Geophys. Eng.*, pp. 0–53, 2019.
- [6] J. Davidovits, *Geopolymer Chemistry and Applications. 5-th edition*, no. April. 2020.
- [7] J. L. Provis and J. S. J. van Deventer, “Geopolymerisation kinetics. 2. Reaction kinetic modelling,” *Chem. Eng. Sci.*, vol. 62, no. 9, pp. 2318–2329, 2007, doi: 10.1016/j.ces.2007.01.028.
- [8] L. M. Keyte, “Fly ash glass chemistry and inorganic polymer cements,” *Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Applications*. pp. 15–36, 2009, doi: 10.1533/9781845696382.1.15.
- [9] A. Fernández-Jimenez, A. G. De La Torre, A. Palomo, G. López-Olmo, M. M. Alonso, and M. A. G. Aranda, “Quantitative determination of phases in the alkali activation of fly ash. Part I. Potential ash reactivity,” *Fuel*, vol. 85, no. 5–6, pp. 625–634, 2006, doi: 10.1016/j.fuel.2005.08.014.
- [10] D. Parias, I. P. Giannopoulou, and T. Perraki, “Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers,” *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 301, no. 1–3, pp. 246–254, 2007, doi: 10.1016/j.colsurfa.2006.12.064.
- [11] P. Duxson, J. L. Provis, G. C. Lukey, S. W. Mallicoat, W. M. Kriven, and J. S. J. Van Deventer, “Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties,” *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 269, no. 1–3, pp. 47–58, 2005, doi: 10.1016/j.colsurfa.2005.06.060.
- [12] E. Rodríguez, R. M. De Gutiérrez, S. Bernal, and M. Gordillo, “Effect of the SiO₂/Al₂O₃ and Na₂O/SiO₂ ratios on the properties of geopolymers based on MK,” *Rev Fac Ing Univ Antioquia*, vol. 49, pp. 30–40, 2009.
- [13] C. Morales-Aranibar, N. Linares-Gutiérrez, and L. Morales-Aranibar, “Immobilization of copper sulfide flotation tailings through the use of geopolymers, Tacna - Perú.,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1065, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1065/1/012009.
- [14] T. Krishnan and R. Purushothaman, “Characterization of Fly Ash Sources in the Synthesis of Geopolymer,” *Silicon*, 2021, doi: 10.1007/s12633-021-01048-w.
- [15] N. Calderón, M. Vargas, J. Almirón, A. Bautista, F. Velasco, and D. Tupayachy-Quispe, “Influence of the activating solution and aggregates in the physical and mechanical properties of volcanic ash based geopolymer mortars,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1054, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1054/1/012003.

- [16] J. y J. D. D. Cornelis Klein, Cornelius S. Hurlbut, "Manual De Mineralogía De Danna," *Fundamentos de Cristalografía y Mineralogía*. pp. 1–29, 1998, [Online]. Available: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/mine_mod1_2.pdf.
- [17] P. Delgado-Plana *et al.*, "Effect of activating solution modulus on the synthesis of sustainable geopolymer binders using spent oil bleaching earths as precursor," *Sustain.*, vol. 13, no. 13, 2021, doi: 10.3390/su13137501.
- [18] F. Elmahdoubi, S. Mabroum, R. Hakkou, and M. Ibnoussina, "Geopolymer materials based on natural pozzolans from the moroccan middle atlas," *Minerals*, vol. 11, no. 12, 2021, doi: 10.3390/min11121344.
- [19] J. Payá, L. Soriano, A. Font, M. V. Borrachero Rosado, J. A. Nande, and J. M. Monzo Balbuena, "Reuse of industrial and agricultural waste in the fabrication of geopolymeric binders: Mechanical and microstructural behavior," *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 9, 2021, doi: 10.3390/ma14092089.
- [20] R. Gupta, A. S. Tomar, D. Mishra, and S. K. Sanghi, "Multifaceted geopolymer coating: Material development, characterization and study of long term anti-corrosive properties," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 317, p. 110995, 2021, doi: 10.1016/j.micromeso.2021.110995.
- [21] J. Umaña *et al.*, "Síntesis de zeolitas a partir de cenizas volantes de centrales termoeléctricas de carbón", Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals, ISBN 8469987798, 2002.

LAS AGUAS GRISES COMO NUEVA FUENTE DE AGUA

Valentina Carrillo¹, Yenifer González², Gloria Gómez³, Verónica Droppelmann⁴ y Gladys Vidal⁵

RESUMEN

En un contexto de escasez hídrica buscando mecanismos de adaptación frente al cambio climático, la búsqueda de nuevas fuentes de agua se torna imprescindible. Las aguas grises surgen como una nueva fuente de agua que puede ser factible de reutilizar dado que presentan en general, una menor carga de contaminantes que las aguas residuales domésticas. Las aguas grises corresponden a las aguas que provienen de los diversos orígenes dentro de los hogares a excepción de las aguas negras, que son aquellas provenientes de los inodoros. La alta generación de éstas y su posterior reutilización podría contribuir a disminuir la presión existente por los recursos hídricos provenientes de cuerpos de agua superficiales o subterráneos y satisfacer con ella, algunos requerimientos dentro de los hogares o en diversas zonas productivas.

Sin embargo, las aguas grises, al igual que las aguas residuales presentan diversos contaminantes que deben ser eliminados adecuadamente a través de un tratamiento idóneo para ello, existiendo tratamientos físicos, químicos o biológicos que podrían ayudar a disminuir los posibles riesgos que un reuso directo pudiera provocar en los diferentes lugares en donde sea dispuesto.

Desde una perspectiva institucional, en Chile existe la ley 21.075 del año 2018 que regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises para diferentes usos, modificada por la publicación en el Diario Oficial del 27 de noviembre 2023 de la Ley Núm. 21.623, que regula recolección, reutilización y disposición de aguas grises para fomentar la reutilización de aguas grises tratadas en la agricultura, aún sin instrumentalización.

¹Ingeniera Civil Ambiental, Dra. en Ciencias Ambientales, Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC), Departamento de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM). Concepción.

²Ingeniera Ambiental, Estudiante de Doctorado en Ciencias Ambientales, Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC), Departamento de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM).

³Bioingeniera, Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC), Departamento de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM).

⁴Ingeniera Civil Bioquímica. Departamento de Conservación de Ecosistemas Acuáticos, Ministerio de Medioambiente, Santiago.

⁵Ingeniera Civil Industrial mención Agroindustrias, Dra. en Ciencias Químicas (Programa Biotecnología Ambiental). Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC), Departamento de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (CRHIAM).

INTRODUCCIÓN

A medida que la población mundial ha crecido exponencialmente en las últimas décadas, nos hemos visto enfrentados a un aumento de la demanda de agua y consecuentemente a una escasez hídrica que ha afectado a gran parte del mundo. Actualmente, casi 4 mil millones de personas viven bajo condiciones de escasez hídrica y 1,6 mil millones de personas se enfrentarán a la escasez económica del agua. Al mismo tiempo, se estima que para el año 2050, debido al cambio climático, alrededor de 685 millones de personas se enfrentarán a una disminución adicional de disponibilidad de agua dulce de por lo menos un 10%, según el informe de las Naciones Unidas para el Desarrollo Mundial del Agua (UNESCO, ONU-Agua, 2020). No obstante, no sólo la alta demanda de agua dulce ha incrementado la crisis y escasez hídrica mundial, sino que el cambio climático también ha jugado un papel clave; principalmente por la disminución en las precipitaciones, la desertificación, la explotación de acuíferos y la tala excesiva. Por tanto, la crisis hídrica podría ser aún más devastadora de lo que se ha estimado.

En este contexto, y en búsqueda de nuevas alternativas, han nacido las oportunidades de gestión sostenibles para la recuperación de recursos hídricos que podrían ayudar a minimizar las necesidades de agua dulce y preservar así mismo los cuerpos de agua continentales (Quispe et al., 2022). Es así, como surge la opción de reutilizar las aguas grises, buscando a través de su utilización lograr una reducción de la demanda de agua y la carga sobre el tratamiento de aguas residuales convencionales, convirtiéndose desde un desecho a un valioso recurso hídrico y en

definitiva, en una nueva fuente de agua (Uthirakrishnan et al., 2022).

La reutilización de las aguas grises puede proporcionar la utilización de agua al menos dos veces, e incluso hasta un tercer uso (riego agrícola), lo que permite un ahorro de 10-20% del consumo de agua urbana (Gross et al., 2015). Las aguas grises se definen como las aguas residuales domésticas a excepción de la descarga de inodoros, es decir, producidos en tinas, duchas, lavadoras y lavaplatos (Gross et al., 2015). En comparación con las aguas servidas, las aguas grises se presentan como una mejor alternativa para su reutilización, debido a que presentan generalmente una menor carga contaminante. Para la reutilización de este recurso, se hace necesario evaluar las características que ésta posee como también la tecnología que sería idónea de implementar, para lograr disminuir los posibles riesgos a los que se exponga el ecosistema o las personas que tengan contacto con esta nueva fuente de agua.

Las aguas grises pueden tener diferentes fuentes de origen, así como también posibles reusos como domésticos, recreativos, industrial, agricultura y ecológico. Sin embargo, para cada reuso se hace necesario dimensionar los riesgos que esto presenta. En particular, en el caso del reuso agrícola, una de las preocupaciones más importantes está relacionado con los aspectos de salud humana y ambiental, es decir, la calidad y seguridad de los alimentos producidos y los problemas de salud de los trabajadores agrícolas. Otras preocupaciones incluyen la salinidad y la tasa de infiltración de agua en el suelo, así como la acumulación de metales pesados y la contaminación causada por la lixiviación de nutrientes (Norton-Brandão et al., 2013).

1. ORIGEN Y CARACTERIZACIÓN DE AGUAS GRISES

Las aguas grises corresponden a las aguas residuales domésticas a excepción de los flujos provenientes del inodoro, las cuáles se denominan aguas negras. Se estima que las aguas grises constituyen aproximadamente un 70-80% del total de las aguas servidas domésticas (Eriksson et al., 2002). La Figura 1 muestra el origen y clasificación de las aguas residuales

domésticas, las cuáles se pueden distinguir entre aguas grises claras y aguas grises oscuras (Boano et al., 2020). Las aguas grises claras incluyen las aguas residuales provenientes de las duchas, tinas y lavamanos. Mientras que las aguas grises oscuras consisten en aguas residuales de la cocina y lavandería, como lavaplatos y lavadoras.

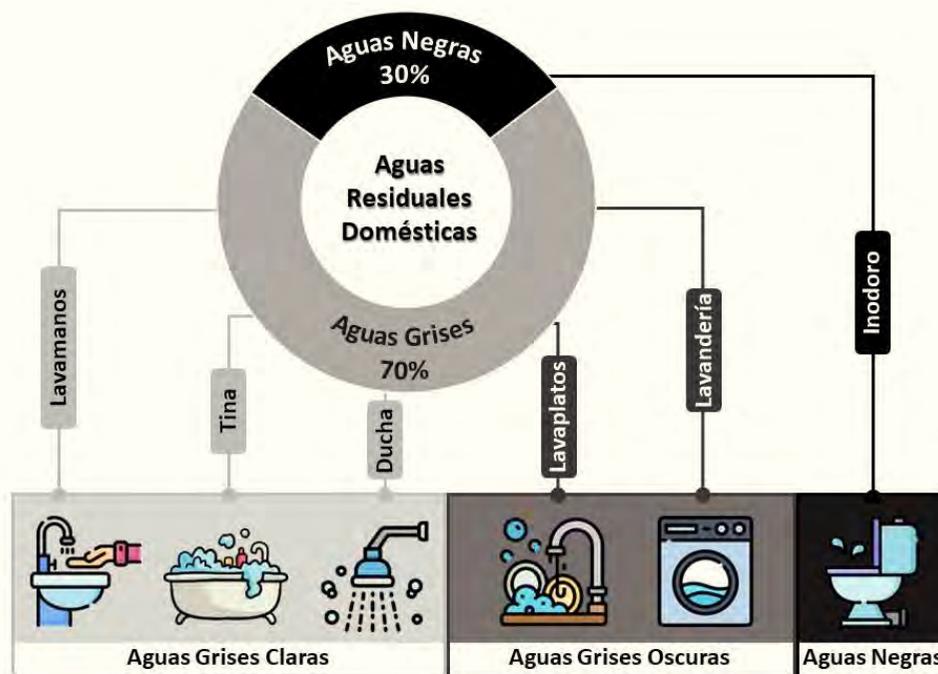


Figura 1. Tipos de aguas grises según su origen.

Dado que el efluente de aguas negras que contiene orina, heces y papel higiénico no ingresa a la corriente de aguas grises, esta última se considera menos contaminada. Se ha estimado que, las aguas grises contienen un menor contenido de materia orgánica y patógenos. Esto, genera un mayor potencial de reúso, dado que es una corriente más segura de manipular y más fácil de tratar para una reutilización en fines no potables como: el riego de cultivos, el riego del jardín, recarga de acuíferos, descarga de inodoros o la descarga en cuerpos de agua (Quispe et al., 2022). Se considera que utilizando aguas grises tratadas para la recarga de los inodoros se podría ahorrar hasta un 30% del consumo total de agua potable en los hogares (Eriksson et al., 2002). Además, una separación en origen de las aguas grises puede reducir el volumen enviado a las plantas de tratamiento de aguas residuales y minimizar la energía requerida para tratar las aguas servidas (Boano et al., 2020).

Sin embargo, las aguas grises mixtas (conjunto de aguas grises claras y oscuras) pueden mostrar concentraciones similares de materia orgánica y nutrientes que las aguas residuales. La Figura 2 muestra las características de las aguas según tipo de agua, ya sea gris o agua residual doméstica. Como observamos, las características de las aguas grises pueden ser muy variables de una fuente a otra. Dependen del estilo de vida de las personas, sexo, edades y actividades, calidad del suministro de agua potable, productos domésticos, ubicación, economía y origen del hogar. Estudios realizados en diferentes países han permitido conocer la composición aproximada de las aguas grises, teniendo que ésta presenta diferencias en la calidad; esto, posiblemente atribuido a las diferentes costumbres entre países, ciudades, pueblos y familias, lo cual radica en que no se pueda estandarizar la caracterización de las aguas grises (Eriksson et al., 2002). Además, éstas pueden variar a lo largo del tiempo por el clima predominante en el origen (Gross et al., 2015).

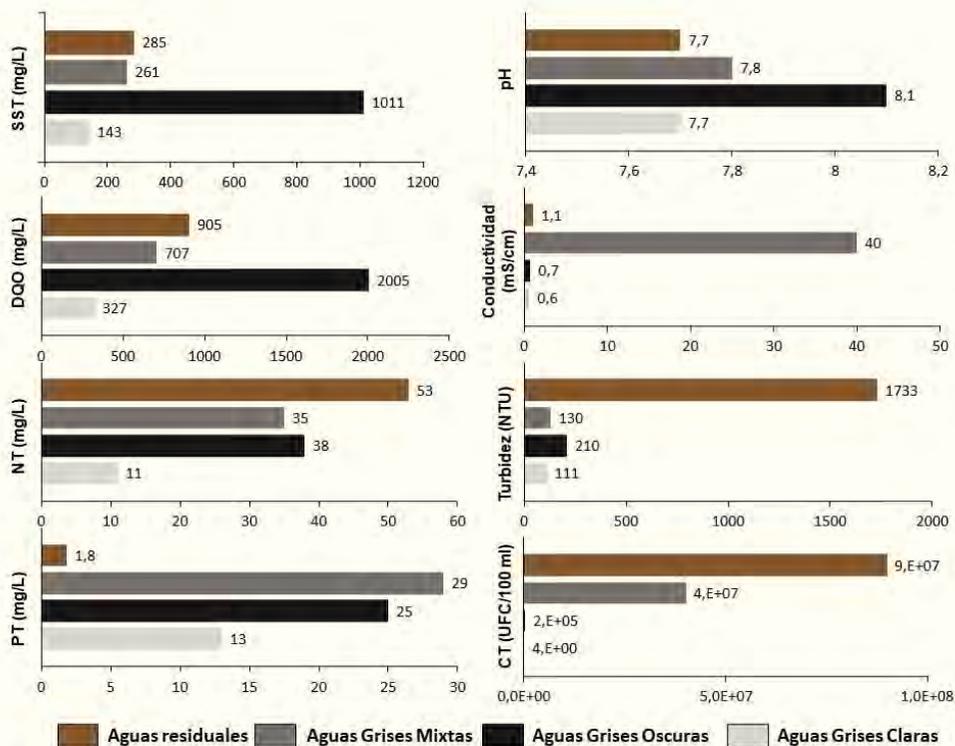


Figura 2. Caracterización de las aguas grises según su origen.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Eriksson et al., 2002; Araya y Vidal, 2014; Gross et al., 2015; Arden y Ma, 2018; Shaikh y Ahammed, 2020. Nota: SST: Sólidos Suspendidos Totales; DQO: Demanda Química de Oxígeno; DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno; NT: Nitrógeno total; PT: Fósforo total; CT: Coliformes totales.

Las aguas grises están compuestas principalmente por partículas, materia orgánica, nutrientes, sustancias inorgánicas (por ejemplo: K^{+1} , Na^{+1} , Ca^{+2} , Mg^{+2} y Cl^{-1}) y microorganismos patógenos como las bacterias. Además, es posible encontrar la presencia de productos químicos tóxicos, recalcitrantes y/o bioacumulativos (ej., metales traza, xenobióticos y compuestos naturales o semisintéticos), aunque éstos representan componentes menores, a menudo designados como microcontaminantes.

Las aguas grises claras contienen una carga orgánica aproximada de 43-305 mgDBO₅/L y una menor concentración de Coliformes Totales entre 1-7,4 UFC/100 mL considerándose unas de las aguas grises menos contaminadas. Algunos de los principales constituyentes de las aguas grises claras son: shampoo, jabón, pasta de dientes, restos de orina, productos de cuidado personal, cabellos, células de piel, aceite capilar,

grasas corporales y partículas de arena/arcilla (Shaikh y Ahammed, 2020).

Por otro lado, las aguas grises oscuras tienen mayor carga orgánica de 260-1363 mgDBO₅/L, SST que alcanzan los 1852 mg/L y tienden a tener mayor conductividad y una alcalinidad cercana a pH 10. Esto, se atribuye a cargas pesadas de detergente o desechos de alimentos asociadas con fuentes de lavandería o cocina (Arden y Ma, 2018). Los principales constituyentes de este tipo de agua gris son: detergentes, aceites y grasas, residuos de alimentos, lavado de carne cruda, cáscaras de frutas y verduras, té o café, restos de conservantes de alimentos, partículas de arena y arcilla, productos químicos de detergentes, solventes, blanqueadores, pinturas, cabello y fibras no biodegradables de la ropa (Shaikh y Ahammed, 2020).

Las concentraciones de SST (29-256 mg/L) en aguas grises claras a menudo son menores que las aguas grises oscuras. Más importante aún, numerosos autores han notado una asociación entre sólidos en suspensión y patógenos más grandes, incluidas bacterias, indicadores bacterianos y protozoos. En términos de microorganismos, los CT en las aguas grises oscuras llegan a $230-4,3 \cdot 10^5$ UFC/100mL, lo que se atribuye al lavado de ropa contaminada, como también que en la cocina se podría producir un rebrote de bacterias entéricas, como los indicadores fecales, generando así una posible sobreestimación de las cargas fecales (Arden y Ma, 2018). La evaluación de patógenos se basa principalmente en indicadores de contaminación fecal, como Coliformes Totales, Coliformes

Fecales (CF) o *Escherichia coli* (Norton-Brandão et al., 2013).

En cuanto a los nutrientes, las principales fuentes de nitrógeno son pequeñas concentraciones de orina, aseo humano y restos de comida (Gross et al., 2015). Mientras que el contenido de fósforo cobra una mayor relevancia, debido a que puede encontrarse en una mayor cantidad en aguas grises oscuras debido al uso de detergentes ricos en fósforo. Sin embargo, suele ser variado debido a las legislaciones existentes en distintos países en materia de detergentes a base de fosfato (Arden y Ma, 2018). En las aguas grises oscuras, se han obtenido concentraciones medias de 12 y 9 mg/L de fósforo respectivamente, mientras que, en las aguas grises claras, las concentraciones se encuentran bajo los 2,0 mg/L (Shaikh y Ahammed, 2020).

2. RIESGOS ASOCIADOS AL USO DE AGUAS GRISES

Aunque el uso de aguas grises puede ser una solución a la escasez de agua y su reutilización se considera relativamente segura, puede implicar algunos peligros potenciales debido a la calidad del agua por los contaminantes presentes. El principal problema es el entorno afectado, que puede ser el interior de las viviendas, el ecosistema (suelo, agua) y afectar a la salud de las personas y los seres vivos, así como a las plantas y los cultivos. Aun así, estos problemas pueden extrapolarse más allá de las instalaciones locales y afectar a zonas vecinas, convirtiéndolo en un problema más global. Los problemas pueden estar relacionados con contaminantes de naturaleza física, química o biológica. Los

problemas físicos incluyen el volumen, la turbidez del agua y los contaminantes sólidos. Los problemas químicos incluyen sales, alcalinidad, metales, materia orgánica, nutrientes y productos químicos de diversas fuentes, como los contaminantes emergentes o microcontaminantes. Los problemas biológicos se deben a patógenos, bacterias y coliformes presentes en las aguas grises (Edwin et al., 2014). Por tanto, una mala gestión o un tratamiento inadecuado de las aguas grises puede tener riesgos asociados a una fuente de peligro para la salud humana y el medio ambiente (Maimon y Gross, 2018).

2.1. Salud de las personas

En general, hay menores riesgos para la salud asociados a la reutilización de aguas grises que con las aguas residuales sin tratar. Sin embargo, estos estándares a menudo se basan en el conocimiento existente de todas las aguas residuales domésticas, lo que la podría hacer más adecuada para su reutilización, pero aun así no garantiza su seguridad. En la Figura 3 se observan los riesgos asociados a la salud de las personas, los cuales son principalmente debido a la presencia de microorganismos patógenos, metales pesados y microcontaminantes cuando

se está en contacto con las aguas grises no tratadas.

Las principales fuentes potenciales de contaminación microbiana son la contaminación fecal, el lavado de manos después de ir al baño, el lavado de pañales, los restos alimenticios crudos y el lavado de la ropa de los niños (Quispe et al., 2022). Entre ellos se pueden encontrar la presencia de organismos patógenos como *Escherichia coli*, rotavirus, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Legionella* y *Cryptosporidium* (Maimon y Gross, 2018).



Figura 3. Riesgos asociados a la salud de las personas debido a la presencia de contaminantes en aguas grises.

Una forma de evaluar la calidad de aguas grises es mediante los indicadores microbianos bacterianos estándar como lo son los CT y CF. Otros indicadores específicos entéricos fecales son *Escherichia coli* y *Enterococos*. La última, una bacteria oportunista asociada con la piel y las membranas mucosas humanas. También se encuentran *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus*, bacterias propuestas como indicadores de la inactivación de virus entéricos y cuyas esporas asociadas se han propuesto como indicador de protozoos parásitos *Clostridium perfringens*. Asimismo, se encuentra una bacteria acuática transmitida por aerosol que puede causar enfermedades respiratorias como *Legionella*, una bacteria gastrointestinal y, a veces, patógena como es la *Salmonella* (Maimon y Gross, 2018; Shaikh y Ahammed, 2020).

La presencia de *Salmonella* y *Campylobacter* está asociada con intoxicación alimentaria que se puede atribuir a carne, mariscos y otros artículos domésticos parcialmente cocidos que ya portan la bacteria. Esta última pueden producir enfermedades gastrointestinales, mientras que *Legionella* se relaciona al reúso de aguas grises y un entorno propicio podría estimular el crecimiento potencial de ésta, conduciendo así a un mayor riesgo de enfermedades transmitidas por la exposición o ingesta de cantidades mínimas o significativas (Shaikh y Ahammed,

2020). Estos patógenos y microorganismos podrían afectar gravemente la salud pública. Se han encontrado concentraciones de CF en aguas grises con valores entre 0 y 10^6 - 10^7 UFC/100 mL, teniendo además recuentos de placas heterotróficas inferiores al límite permisible que suele estar en el rango de 10^5 a 10^7 UFC/100 mL (Quispe et al., 2022).

Otro contaminante que puede generar riesgos a la salud a largo plazo o riesgos secundarios son los metales pesados. Si bien algunos metales son esenciales para el crecimiento, los niveles elevados pueden afectar la salud de la población. Los metales pesados también se encuentran habitualmente en aguas grises en forma de Arsénico, Boro, Cromo, Cobre, y Zinc, los cuáles generalmente se encuentran en altas concentraciones (Shaikh y Ahammed, 2020). Algunos metales pesados se pueden encontrar en productos del hogar como cuidado personal y de cocina (detergentes, jabón, cloro etc.) y restos de ropa. También, algunos metales como Plomo pueden atribuirse a las tuberías de plomo en el sistema de distribución de agua potable. Sin embargo, la mayoría de las concentraciones de metales pesados en aguas grises no son prioridad de estudios o motivo de preocupación en la salud de las personas, como sí lo son en suelos agrícolas o ambientes acuáticos debido a la posible bioacumulación de éstos (Shaikh y Ahammed, 2020).

Por último, se ha reportado sobre los contaminantes emergentes en las aguas grises que suelen incluir disruptores endocrinos, tensoactivos, fragancias, colorantes, conservantes, limpiadores y disolventes (Boano et al., 2020). En efecto, las concentraciones más altas de estos compuestos generalmente se encuentran en las aguas grises de la cocina y la lavandería. Asimismo, se han encontrado estas sustancias en la orina de adultos, las cuáles han

ido en aumento progresivamente desde el año 2010 al 2014 (Mu et al., 2018). Los riesgos asociados con estos compuestos, es que a pesar de que se encuentran en concentraciones trazas, son altamente bioacumulables. Así, pueden generar problemas de salud humana basado en su potencial cancerígeno, alteración de hormonas estrogénicas y problemas en el sistema endocrino, entre otros (Shaikh y Ahammed, 2020).

2.2. Ecosistemas

Los riesgos asociados al ecosistema están relacionados con la contaminación de las aguas superficiales y/o subterráneas, así como con los efectos en el crecimiento de las plantas y comunidades microbianas del suelo. La Figura 4 muestra que los principales problemas se deben al pH, materia orgánica, microcontaminantes y sustancias inorgánicas como metales e iones

presentes. Algunos de los riesgos más comunes son problemas de retención de agua, salinidad, alcalinidad de suelos, bioacumulación de contaminantes y retención de nutrientes; en definitiva, problemas de crecimiento en la vegetación y microbiota de suelo irrumpiendo los ciclos biogeoquímicos y funciones ecológicas (Maimon y Gross, 2018).

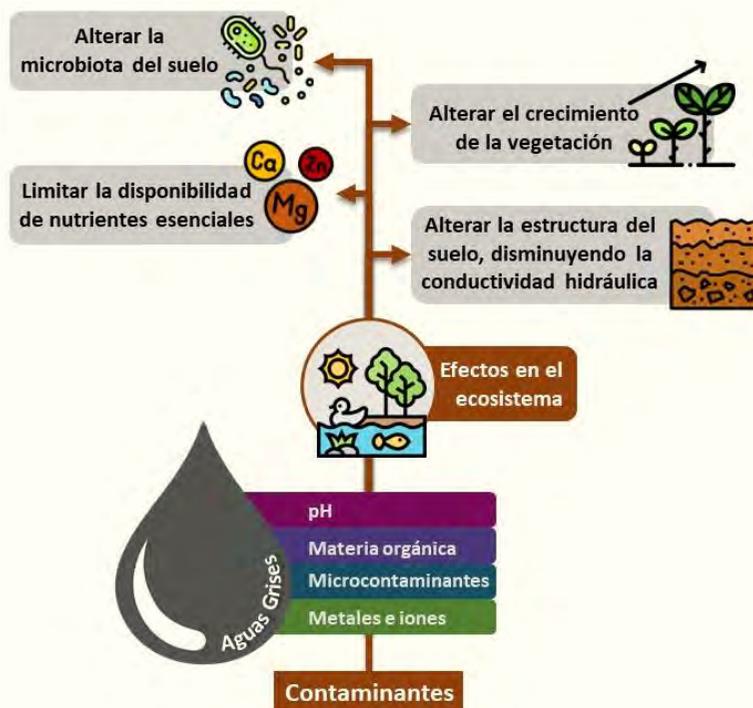


Figura 4. Riesgos asociados al ecosistema debido a la presencia de contaminantes en aguas grises.

Un pH alcalino cercano a 9 como en el caso de las aguas grises mixtas puede limitar la disponibilidad de nutrientes esenciales para la planta y ocasionar deficiencias de fósforo y zinc, y hasta, posiblemente, la disolución de metales pesados. Asimismo, la salinidad puede alterar la estructura del suelo reduciendo la conductividad hidráulica en especial en arcillas. Otro factor importante es el Boro el cual en exceso causa toxicidad en la vegetación. La fuente de este elemento se encuentra en blanqueadores utilizados en lavandería, como también en tabletas de lavado (Gross et al., 2015). La presencia de estos compuestos puede generar repercusiones en la vegetación y microbiota del suelo, como también pueden repercutir en aguas superficiales aledañas o aguas subterráneas (Maimon y Gross, 2018).

La concentración de materia orgánica en aguas grises es un factor importante en el control de calidad, ésta afecta en el ambiente de tal manera que termina modificando propiedades del agua y el suelo. Cuando tenemos materia orgánica en exceso ésta modifica la capacidad de retención de agua del suelo como también el flujo de partículas de éste, además de provocar una mala

conductividad hidráulica, entre otros problemas (Eriksson et al., 2002; Shaikh y Ahammed, 2020).

Los microcontaminantes han demostrado ser tóxicos o posiblemente disruptores endocrinos y, bajo ciertas condiciones, pueden tener un efecto adverso en la microbiota del suelo y el agua. Los tensoactivos o agentes espumantes, están compuestos de una parte hidrofóbica y otra hidrofílica lo que les brinda un potencial persistente y bioacumulativo lo que contribuye a la repelencia de agua en suelos irrumpiendo en la productividad de los suelos. En el caso de las aguas grises, se ha encontrado su origen en los detergentes; presentan propiedades antimicrobianas por lo que pueden estimular la evolución y crecimiento de bacterias resistentes. Además, inhiben la microbiota del suelo para absorber los minerales presentes en él y se ha demostrado que son capaces de adsorberse fuertemente en los lodos, suelo y sedimentos. Incluso, se han reportado cambios en la estructura de comunidades bacterianas del suelo debido a la contaminación con tensoactivos (Maimon y Gross, 2018).

3. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTOS PARA AGUAS GRISES

Dada la complejidad y riesgos de los contaminantes presentes en las aguas grises, se hace fundamental caracterizar los contaminantes presentes para determinar la eliminación total requerida, el potencial reúso y seleccionar los trenes de tratamiento apropiados. Dado el tipo de reutilización, siempre es difícil predecir completamente los efectos que pueden derivarse. Sin embargo, en general se reutilizan en sitios rurales o alejados de la población, por lo que la tecnología implementada para su tratamiento es operada o mantenida por unas pocas personas, en su mayoría no profesionales (Maimon y Gross, 2018). Por lo tanto, la tecnología escogida debe

ser robusta, confiable y capaz de soportar grandes variaciones en la calidad y cantidad del agua, y debe tratar el agua a un nivel seguro para su reutilización.

La Figura 5 muestra un esquema de las alternativas de tratamiento de las aguas grises que deben ser tratadas siguiendo un tren de tratamientos físicos, químicos y biológicos. Como tratamiento primario, principalmente se utilizan mecanismos fisicoquímicos como la filtración, sedimentación, coagulación y floculación para reducir los sólidos suspendidos, color y turbidez.



Figura 5. Tecnologías para el tratamiento de aguas grises

Como tratamiento secundario destacan los mecanismos biológicos los cuales se enfocan en la eliminación de materia orgánica y en menor medida de nutrientes. Los tratamientos secundarios se pueden clasificar como tecnologías convencionales y no convencionales o últimamente llamados Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN). Las tecnologías convencionales son intensivas en energía e implementación; en éstas destacan los lodos activados, contactor biológico rotativo, biorreactor de membrana, reactor discontinuo de secuenciación y lodos anaerobios de flujo ascendente (Norton-Brandão et al., 2013; Edwin et al., 2014; Boano et al., 2020; Kurniawan et al., 2021). Por el contrario, las tecnologías no convencionales se basan en procesos naturales de baja manipulación como humedales construidos, techos y paredes verdes, filtros verdes como fitorremediación o vermifiltros basados en la

degradación de la materia orgánica por la acción de lombrices (Arden y Ma, 2018).

La Tabla 1 muestra un resumen de las eficiencias de eliminación de contaminantes en diferentes tipos de tecnologías para el tratamiento de aguas grises. Los tratamientos fisicoquímicos como la filtración han demostrado ser eficientes para eliminar la turbidez hasta en un 88% y los sólidos hasta un 93% dependiendo del medio filtrante y tamaño de poros. Los filtros más comunes son los de arena, seguido por los de carbón activado y otros menos utilizados son el biochar o corteza de pino (Boano et al., 2020; Kurniawan et al., 2021). Otro método de filtración es a través de membranas, las cuáles logran una buena eliminación de sólidos y patógenos hasta en un 100%. Sin embargo, pueden ser sensibles al rebrote de patógenos por medio de incrustaciones y son altamente costosos (Maimon y Gross, 2018).

Tabla 1. Eficiencias de eliminación en diferentes tecnologías para el tratamiento de aguas grises.

Tecnología	Eficiencias de eliminación (%)									Referencias
	Turbidez	SST	DBO ₅	DQO	NT	PT	CT	CF	Tensoactivo	
Filtración + sedimentación	25-88	14-93	57-98	20-94	50-53	70-99	98-100	-	80-98	Boano et al., 2020; Kurniawan et al., 2021;
Coagulación (Fe, Al)	90-94	-	85-94	63-91	1-12	94-96	-	-	-	Boano et al., 2020
Humedales construidos	47-77	25-84	63-87	35-74	44-59	24-58	28-40	38-50	-	Arden y Ma, 2018
Vermifiltros	-	70-99	85-97	32-93	70	31	-	-	-	Chowdhury et al., 2022
Techos y paredes verdes	-	-	86-98	81-92	31-92	60-99	98-99	92-96	-	Boano et al., 2020
Biorreactor de membrana (MBR)	90-98	>90	48-95	51-80	37-97	18-60	>95	-	95-96	Boano et al., 2020; Kurniawan et al., 2021;
Contactador biológico rotativo (RBC)	>66	11-87	52-93	60-80	57-85	12-60	-	-	-	Boano et al., 2020; Kurniawan et al., 2021;
Lodos anaerobios de flujo ascendente (UASB)	-	-	-	51-70	35-37	31-50	-	-	-	Kurniawan et al., 2021
Sistema aerobio + anaerobio	-	5-24	37-40	45-90	35-70	31-66	-	-	97	Kurniawan et al., 2021

Nota: SST: Sólidos suspendidos totales; DBO₅: Demanda biológica de oxígeno; DQO: Demanda química de oxígeno; NT: Nitrógeno total; PT: Fósforo total; CT: Coliformes totales; CF: Coliformes fecales

A pesar de ser bastante efectivos para la reducción de sólidos en aguas grises, tienden a degradar menos materia orgánica (57%) y nutrientes como el nitrógeno (50-53%), por lo que se hace necesario un paso previo como es la sedimentación o trampa de grasas para evitar la colmatación del filtro (Edwin et al., 2014). Otro tratamiento alternativo puede ser agregar un proceso post filtración como la coagulación y floculación. Este tratamiento implica la adición de coagulantes químicos como Cloruro de hierro (FeCl₃) y Sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃) para aumentar la eliminación de materia orgánica o nutrientes como el fósforo. Sin embargo, la adición del coagulante afecta el valor del pH, lo cual se convierte en una limitante para tratar las aguas grises (Kurniawan et al., 2021).

Los tratamientos biológicos para aguas grises pueden ser del tipo aeróbicos o anaeróbicos.

Dentro de los tratamientos aerobios destacan los lodos activados (LA), biorreactores de membrana (MBR), contactador biológico rotativo (RBC) y reactor secuencial por lotes (SBR) que alcanzan eliminaciones de materia orgánica sobre un 90%. Sin embargo, en relación a la eliminación de DQO las eficiencias alcanzan un 51-80% debido a la presencia de compuestos orgánicos más recalcitrantes que contienen las aguas grises (Arden y Ma, 2018). Para ello, una combinación de sistemas aerobios con anaerobios como la conexión de SBR y UASB ha demostrado una eliminación de DQO de un 90%, sumado a la eliminación de tensoactivos de un 97% mediante el método SBR. En general, los sistemas de aireación son óptimos para eliminar material tensoactivo en aguas grises (Kurniawan et al., 2021).

Los MBR, un tratamiento biológico aeróbico con técnicas de filtración tiene la ventaja de tener buena eliminación de materia orgánica (95%), sólidos en suspensión (>90), turbidez (98%) y patógenos (>95) teniendo la ventaja de ocupar poco espacio (Maimon y Gross, 2018). Sin embargo, estos tipos de sistemas implican mayores costos operativos, mantención y de capital (Edwin et al., 2014). Asimismo, las desventajas de estos tratamientos biológicos puede ser la baja eliminación de nutrientes, debido a la relación materia orgánica: nutrientes. En general, el nitrógeno en las aguas grises proviene de la orina y se presenta principalmente en forma de amonio, mientras que el fosfato proviene del uso de detergentes (Kurniawan et al., 2021).

Las tecnologías basadas en la naturaleza como humedales construidos, techos verdes o vermifiltros están demostrando ser una mejor alternativa para el tratamiento de agua grises y están ganando popularidad. Son tecnologías que se destacan por bajos costos de mantenimiento y uso de energía, sin formación de subproductos (Maimon y Gross, 2018). En cuanto a la eliminación de materia orgánica alcanzan eficiencias de eliminación de 53-98%, con una mayor eficiencia de eliminación de DQO de 93% por los vermifiltros. Esto se debe a que las lombrices en los vermifiltros degradan compuestos orgánicos gruesos en partículas más finas mejorando la biodegradabilidad para el proceso en general (Chowdhury et al., 2022).

Una de las desventajas de estos sistemas es la limitada eliminación de sólidos, turbidez y patógenos. Lo que indica que se debe contar con un tratamiento primario con la finalidad de reducir los sólidos y la turbidez de las aguas grises. Para la eliminación de patógenos, los humedales construidos muestran una reducción de patógenos de un 28-51% (Maimon y Gross, 2018). Mientras que los techos y paredes verdes están por sobre el 90%. Por lo tanto, una solución para el posible reúso podría ser la adición de una unidad de desinfección para alcanzar los límites estándar de reutilización (Boano et al., 2020).

Finalmente, como tratamiento terciario destacan las tecnologías de desinfección que se basan

principalmente en tratamientos químicos efectuados con cloro, ozono, ultravioleta, oxidación avanzada y electrólisis. Estos son altamente eficientes en la destrucción de microorganismos que causan enfermedades y otros patógenos presentes (Edwin et al., 2014; Kurniawan et al., 2021). Entre las técnicas nombradas, la desinfección basada en cloro es una de las más económicas y fácil de utilizar y almacenar. Sin embargo, puede tener una baja eficiencia de inactivación debido a un mal tratamiento previo ya que el alto pH, la turbidez y sólidos suspendidos pueden influir (Edwin et al., 2014). Se ha informado que un cloro residual más alto de alrededor de 0,15 a 0,2 mg/L puede conducir a una reducción de bacterias de tres órdenes de magnitud.

Otras tecnologías de desinfección son más eficaces como el ozono, oxidación avanzada, fotocatalisis y electrólisis. Sin embargo, tienen altos costos de operación, mantenimiento, operación y la posible generación de subproductos tóxicos o cancerígenos (Maimon y Gross, 2018). Por ejemplo, los tratamientos basados en procesos de oxidación avanzada utilizan ozono o peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el cuál es un producto químico tóxico y peligroso (Kurniawan et al., 2021).

Pocos estudios son los que evalúan microcontaminantes, desde su caracterización hasta su tratamiento lo que complica la evaluación de riesgos que puede estar asociado a su reutilización. A pesar de esto, la mayoría de estos compuestos no son tóxicos para los humanos, pero la acumulación de estos microcontaminantes a lo largo del tiempo en un sistema de circuito cerrado puede ser un problema.

4. **NORMATIVA DE REÚSO DE AGUAS GRISES**

A nivel mundial, los estándares de reutilización del agua son variables y se rigen por el uso previsto del efluente tratado. Sin embargo, hay ciertas barreras que impiden la implementación exitosa de la reutilización de aguas grises: las barreras administrativas (institucionales y legales), tecnológicas (limitaciones financieras, cantidad y calidad de aguas) y barreras de percepción pública (limitaciones sociales y culturales) (Vuppaladadiyam et al., 2019).

Las normativas legales e institucionales son de vital importancia debido a que garantizan la utilización segura de las aguas grises a la población. Además, estas instituciones se deben encargar del costo de los tratamientos y mantenciones del sistema. La restricción tecnológica y económica se enfoca en la accesibilidad de tecnologías de tratamientos que aseguren aguas tratadas de una calidad óptima según el uso que se quiera dar. Por último, la percepción pública es un obstáculo común para la reutilización de aguas grises por varias razones, como sesgos culturales, grupos sociales y estéticos que difieren en los distintos países. Las mayores preocupaciones son por la calidad del agua, la salud humana y las implicaciones ambientales de la reutilización de aguas grises (Vuppaladadiyam et al., 2019).

El tipo de tratamiento debe ir enfocado en la aplicación del reúso de aguas grises y centrarse en los estándares de calidad e impactos a la salud de las personas y el ecosistema. Entre los tipos de reúso destacan usos recreativos y paisajísticos, agricultura y urbano, agua para embalses o lagos, para mantener el caudal ecológico, uso industrial o construcción, recarga de inodoros, lavados de autos o caminos, descarga a aguas superficiales o infiltración a aguas subterráneas (Norton-Brandão et al., 2013; Edwin et al., 2014; Arden y Ma, 2018; Vuppaladadiyam et al., 2019; Boano et al., 2020)

Algunos casos importantes de reúso de aguas grises en riego se han implementado en países como Corea, Estados Unidos y Australia generando beneficios económicos y ambientales en las comunidades agrícolas, ahorrando costos en bombeo de agua y fertilización. Al mismo tiempo, se preservan los escasos recursos de agua dulce existentes. En regiones del medio oriente se trata el 43% de las aguas grises generadas debido a la escasez hídrica presente en países como Jordania, Túnez, e Israel. Estos países, emplean una variedad de sistemas convencionales y no convencionales y tienen normas y reglamentos nacionales para su potencial reutilización (Norton-Brandão et al., 2013).

Este reúso, debe estar regulado bajo una normativa. Así, en la actualidad, no existen estándares de calidad uniformes para la reutilización de aguas grises a nivel mundial, y las tecnologías de tratamiento disponibles son en su mayoría patentadas y poco claras en muchos aspectos. Además, no existen leyes ni reglamentos sobre el tratamiento y la reutilización de aguas grises en muchos países (Edwin et al., 2014).

No obstante, algunos países ya han planteado la posibilidad de reutilizar el agua gris para diferentes actividades. En general, para cada actividad a realizar la normativa se hace más o menos estricta en cuanto a la concentración de diferentes parámetros. La Tabla 2 presenta las actuales legislaciones utilizadas en diversos países. En ésta se observa que los parámetros que son regulados se concentran en la medición de sólidos, materia orgánica biodegradable, patógenos y en algunos casos nutrientes.

Para el caso específico de SST, en general, se aceptan valores máximos de 20 o 10 mg/L, al igual que lo que ocurre en la materia orgánica biodegradable medida como DBO₅.

En Chile, el año 2018 se promulgó la Ley 21.075, la cual regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises (Ley 21075, 2018). En este caso, se contempla el reúso de aguas grises para los siguientes destinos:

- Urbanos: riego de jardines o descarga de aparatos sanitarios
- Recreativos: riego de áreas verdes públicas, campos deportivos u otros con libre acceso al público
- Ornamentales: áreas verdes y jardines ornamentales sin acceso al público
- Industriales: uso en todo tipo de procesos industriales no destinados a productos alimenticios y fines de refrigeración no evaporativos
- Ambientales: riego de especies reforestadas, mantención de humedales y otros usos que contribuyan a la conservación y sustentabilidad ambiental

Esta Ley contempla que las aguas grises se pueden utilizar para diferentes actividades. Incluso, se pueden incluir usos potables y no potables, como es el caso de la descarga de inodoros o el uso en la agricultura. Aun así, se deben tener las siguientes consideraciones para su implementación:

- Los estanques y tuberías de las aguas grises deben estar señalizadas y deben ir bajo las tuberías de agua potable.
- Se debe tener independencia de los servicios de agua potable y alcantarillado.
- Conexión con alcantarillado en caso de tener que evacuar las aguas grises por emergencia o mantención.
- Los puntos de reutilización deben estar señalizados.
- Se debe tener una planta de tratamiento. Ésta y los dispositivos del sistema de reutilización deben estar protegidos del acceso de personas extrañas y animales.

En definitiva, las directrices para la reutilización de aguas grises debieran incluir al menos parámetros como pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días (DBO_5), SST, turbidez, Coliformes fecales y totales, y ojalá también parámetros como nitrógeno, NH_4^+ y fósforo (Vuppaladadiyam et al., 2019). No obstante, parámetros como tensoactivos y contaminantes emergentes son necesarios pensando en el potencial de bioacumulación que éstos podrían tener y el posible daño a la salud pública y ecosistemas que podrían generar.

Tabla 2: Normativa vigente para el reúso de aguas grises.

Parámetro	Unidad	Australia	Israel	EE.UU.	Italia	Nueva Gales	Reino Unido	Canadá	Japón	España	China
Tipo de reúso	-	Riego de superficie, descarga del inodoro, uso de lavandería, lavado de coches	-	Riego paisajístico, descarga de inodoros, protección contra incendios, aire acondicionado comercial	Aguas grises tratadas calidad para la reutilización	Descarga del inodoro	Riego aspersores, Descarga del inodoro	Descarga del inodoro		Calidad del agua para agricultura	Para las aguas residuales
pH	-	6-9	-	6-9	6-9,5	-	5-9,5	7-9	6-9		6-9
Conductividad	dS/m				0,03					3	-
Índice de adsorción de sodio								6	10		-
SST	mg/L	<10	<10	-	<10	<20	-	<20	-	<20	10-50
Turbidez	NTU	-	-	<2-5	-	2	<10	<2	Clara	-	<10
DQO	mg/L	-	<100	-	<100	-	-	-	-	-	<15
DBO ₅	mg/L	<20	<10	<10	<20	<20	-	<20	<20	-	10-20
NT	mg/L	-	-	-	<15	-	-	-	20-30	-	15-20
PT	mg/L	-	-	-	<2	-	-	-	1-4	-	1-5
Tensoactivos	mg/L				0,5				30	-	0,5-1
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	-	-	-	<10	-	25	-		-	-
Coliformes fecales	UFC/100 mL	10	-	N.D	-	<1	1000	<200	<1*10 ⁴	100	-

5. CONSIDERACIONES FINALES

En general, el uso de aguas grises como una nueva fuente de agua, presenta potencial de reúso de y podría aliviar la utilización de agua potable para realizar actividades diarias como la recarga de inodoros, el riego de jardines, árboles y otras actividades que no impliquen un contacto directo. Sin embargo, es de vital importancia, utilizar un tratamiento adecuado para eliminar diferentes contaminantes que contienen las aguas grises, tales como, la materia orgánica, nutrientes, patógenos y avanzar en la eliminación de contaminantes emergentes o microcontaminantes que pueden generar efectos adversos en la salud pública y los ecosistemas. Por otra parte, el uso por parte de la comunidad de productos domésticos ecológicos que posean una alta biodegradabilidad podría disminuir el riesgo asociado con estos microcontaminantes. Para esto, iniciativas de educación ambiental que

muestren las implicancias de las decisiones del diario vivir se hace muy urgente.

La idoneidad de cada tecnología a implementar dependerá de la situación específica en donde ésta se requiere, dado que dependerá de los costos económicos, de mantención y operación de dichos procesos para tener un agua de calidad para su reutilización posterior. Esto se encuentra contextualizado bajo la normativa vigente. En Chile, el año 2018 fue promulgada la ley 21.075 que “Regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises” y en el Diario Oficial del 27 de noviembre 2023 se publica una modificación, como la Ley Núm. 21.623, que regula recolección, reutilización y disposición de aguas grises para fomentar la reutilización de aguas grises tratadas en la agricultura. Toda esta nueva institucionalidad está siendo motivo de trabajo para su reglamentación.

REFERENCIAS

- Arden, S., y Ma, X. (2018). Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: a review. *Science of the Total Environment*, 630, 587-599. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.218>
- Becerra-Castro, C., Lopes, A. R., Vaz-Moreira, I., Silva, E. F., Manaia, C. M., & Nunes, O. C. (2015). Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment international*, 75, 117-135. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.001>
- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., ... & Masi, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of the total environment*, 711, 134731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134731>
- Chowdhury, S. D., Bhunia, P., & Surampalli, R. Y. (2022). Sustainability assessment of vermifiltration technology for treating domestic sewage: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 50, 103266. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103266>
- Edwin, G. A., Gopalsamy, P., & Muthu, N. (2014). Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review. *Applied Water Science*, 4(1), 39-49. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0128-8>
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban water*, 4(1), 85-104. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)
- Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., & Friedler, E. (2015). *Greywater reuse*. CRC Press. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.159>
- Kurniawan, S., Yuliwati, E., Ariyanto, E., Morsin, M., Sanudin, R., & Nafisah, S. (2021). Greywater treatment technologies for aquaculture safety. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.03.014>

- Ley-21075 15-FEB-2018 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS - Ley Chile - Biblioteca del Congreso Nacional. (n.d.). Retrieved October 5, 2022, from <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1115066&idParte=9886827&idVersion=2018-02-15>
- Maimon, A., & Gross, A. (2018). Greywater: Limitations and perspective. *Current opinion in environmental science & health*, 2, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.11.005>
- Mu, X., Huang, Y., Li, X., Lei, Y., Teng, M., Li, X., ... & Li, Y. (2018). Developmental effects and estrogenicity of bisphenol A alternatives in a zebrafish embryo model. *Environmental science & technology*, 52(5), 3222-3231.
- Norton-Brandão, D., Scherrenberg, S. M., & van Lier, J. B. (2013). Reclamation of used urban waters for irrigation purposes—a review of treatment technologies. *Journal of environmental management*, 122, 85-98.
- Oron, G., Adel, M., Agmon, V., Friedler, E., Halperin, R., Leshem, E., & Weinberg, D. (2014). Greywater use in Israel and worldwide: Standards and prospects. *Water Research*, 58, 92–101. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2014.03.032>
- Quispe, J. B., Campos, L. C., Mašek, O., & Bogush, A. (2022). Use of biochar-based column filtration systems for greywater treatment: A systematic literature review. *Journal of Water Process Engineering*, 48, 102908. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102908>
- Rodríguez C, Sánchez R, Rebolledo N, et al (2021) Life cycle assessment of greywater treatment systems for water-reuse management in rural areas. *Science of The Total Environment* 795:148687. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148687>
- Shaikh, I. N., & Ahammed, M. M. (2020). Quantity and quality characteristics of greywater: a review. *Journal of environmental management*, 261, 110266. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110266>
- UNESCO, ONU-Agua, 2020: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático, París, UNESCO.
- Vuppaladadiyam, A.K., Merayo, N., Prinsen, P. et al. A review on greywater reuse: quality, risks, barriers and global scenarios. *Rev Environ Sci Biotechnol* 18, 77–99 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11157-018-9487-9>

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CÍA. DE PETRÓLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CyD INGENIERÍA LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

GUZMÁN Y LARRAÍN VIVIENDAS ECONÓMICAS SpA

EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.

EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.

EMPRESAS CMPC S.A.

ENAEX S.A.

ENEL GENERACIÓN CHILE S.A.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

ARCADIS CHILE S.A.

IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

SYNEX CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

Hoy todos

SOMOS VERDES

Porque el verde más que un color es una **Acción Diferente**

Súmate a todo lo verde que estamos haciendo y conoce nuestros productos en Bci.cl

Crédito Hipotecario Verde

Seguro Automotriz Verde

Descuentos en Comercios Sostenibles

Leasing Verde

