Revista Chilena de
INGENIERIA
ISSN 0370 - 4009 - N° 486 - Abril 2019

Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 131, N° 1 - ISSN 0716 - 2340

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

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

JUNTA EJECUTIVA

Presidente
Luis Nario Matus

Primer Vicepresidente
Carlos Mercado Herreros

Segundo Vicepresidente
Ricardo Nicolau del Roure

Tesorero
Juan Carlos Barros Monge

Protesorero
Iván Álvarez Valdés

Secretaria
Ximena Vargas Mesa

Prosecretaria
Silvana Cominetti Cotti-Cometti

DIRECTORIO 2019

Iván Álvarez Valdés
Elías Arze Cyr
Marcial Baeza Setz
Juan Carlos Barros Monge
Sally Bendersky Schachner
Juan E. Cannobbio Salas
Silvana Cominetti Cotti-Cometti
Alex Chechilnitzky Zwicky
Raúl Demangel Castro
Álvaro Fischer Abeliuk
Andrés Fuentes Torres
Javier García Monge
Roberto Fuenzalida González
Tomás Guendelman Bedrack
Diego Hernández Cabrera
Carlos Mercado Herreros
Germán Millán Valdés
Rodrigo Muñoz Pereira
Ricardo Nanjarí Román
Luis Nario Matus
Ricardo Nicolau del Roure G.
Humberto Peña Torrealba
Miguel Ropert Dokmanovic
Manuel Ruz Jorquera
Mauricio Sarrazin Arellano
Alejandro Steiner Tichauer
Ximena Vargas Mesa
Luis Valenzuela Palomo
René Vásquez Canales
Jorge Yutronic Fernández

Secretario General
Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA ANTISÍSMICA, **ACHISINA**.
Presidente: Rodolfo Saragoni H.

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - CAPÍTULO CHILENO, **AIDIS**.
Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA, **SOCHID**.
Presidente: José Vargas B.

SOCIEDAD CHILENA DE GEOTECNIA, **SOCHIGE**.
Presidenta: Daniela Pollak A.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE, **SOCHITRAN**.
Presidente: Juan Carlos Herrera M.

PMI SANTIAGO CHILE CHAPTER.
Presidente: Alfonso Barraza San M.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN EN INGENIERÍA, **SOCHEDI**.
Presidente: Mario Letelier S.

COMISIONES DEL INSTITUTO

Aguas.
Presidente: Humberto Peña T.

Electromovilidad, Oportunidades para la Ingeniería Chilena.
Presidente: Javier García M.

Ingeniería y Ética.
Presidente: Elías Arze C.

Ingenieros en la Historia Presente.
Presidente: Ricardo Nanjarí R.

Ingeniería y Ciencias de la Vida.
Presidente: Alejandro Steiner T.

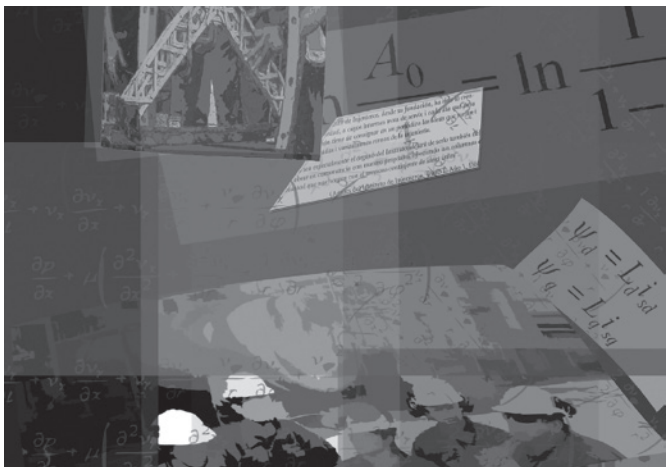
Prospectivas de la Ingeniería.
Presidente: Jorge Yutronic F.

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

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois
Jaime Allende Urrutia
Elías Arze Cyr
Marcial Baeza Setz
Juan Carlos Barros Monge
Bruno Behn Theune
Sergio Bitar Chacra
Mateo Budinich Diez
Juan Enrique Castro Cannobbio
Jorge Cauas Lama
Joaquín Cordua Sommer
Luis Court Moock
Alex Chechilnitzky Zwicky
Raúl Espinosa Wellmann
Álvaro Fischer Abeliuk
Roberto Fuenzalida González
Tristán Gálvez Escuti
Alejandro Gómez Arenal
Tomás Guendelman Bedrack
Diego Hernández Cabrera
Jaime Illanes Piedrabuena
Agustín León Tapia
Jorge López Bain
Jorge Mardones Acevedo
Carlos Mercado Herreros
Germán Millán Pérez
Guillermo Noguera Larraín
Luis Pinilla Bañados
Rodolfo Saragoni Huerta
Mauricio Sarrazin Arellano
Raúl Uribe Sawada
Luis Valenzuela Palomo
Solano Vega Vischi
Hans Weber Münnich
Andrés Weintraub Pohorille
Jorge Yutronic Fernández

ÍNDICE



Nuestra portada

El libro "La Formación de Ingenieros Civiles en Chile", publicado por el Instituto, convocó en su lanzamiento a distintos actores del mundo de las universidades, la industria, del mundo público y otros, en la lógica de exponer el contenido del libro para sostener luego una conversación permanente, con el fin de lograr que la Ingeniería contribuya efectivamente al desarrollo del país.

REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA
N° 486, abril de 2019

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

DIRECTOR
Raúl Uribe S.

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

REPRESENTANTE LEGAL
Luis Nario Matus
Dirección: San Martín N° 352, Santiago

SECRETARIO GENERAL
Carlos Gauthier T.

SECRETARÍA
Patricia Núñez G.

DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN
versión | producciones gráficas Ltda.

EDITORIAL. Pág. 2

PANEL "DESARROLLO DE LA ASTRONOMÍA EN CHILE. OPORTUNIDADES PARA LA INGENIERÍA". Pág. 3
Comisión de Ingeniería y Astronomía del Instituto de Ingenieros de Chile.
Presidente: Sr. Juan Carlos Barros M.

PANEL "FORMACIÓN DE INGENIEROS CIVILES EN CHILE". Pág. 16
Comisión de Formación de Ingenieros del Instituto de Ingenieros de Chile.
Presidente: Sr. Jorge Yutronic F.

CONFERENCIA DEL MINISTRO DE DESARROLLO SOCIAL. Pág. 38
Don Alfredo Moreno Charme.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS Pág. 51
- Sr. Alejandro Steiner T.
- Sra. María Ofelia Moroni Y.

Comisión de Ingenieros en la Historia Presente
Presidente: Ricardo Nanjarí R.

EDITORIAL

Chile cuenta con diversas aptitudes que lo sitúan, en ciertas materias, a la vanguardia mundial en investigación y desarrollo. Una de éstas deriva de la excepcional condición de los cielos de las regiones nortinas, que superan largamente a la de otros países, y que ha significado la decisión de emplazar, entre la segunda y la cuarta Región, a los más modernos observatorios astronómicos del mundo.

La observación astronómica hasta fines del siglo XX, se realizaba con telescopios ópticos, de un limitado rango de pesquisas. Los astrónomos se contaban con los dedos de la mano y quienes se dedicaban al cultivo de esta ciencia, podían perfectamente calificarse como románticos científicos que destinaban su tiempo y energía a temas considerados excéntricos en esa época. Quedaban sin solución temas formulados teóricamente más de un siglo atrás y que hoy, con el gran desarrollo técnico incorporado en los nuevos instrumentos, están siendo vertiginosamente comprobados.

En este marco de referencia, el Instituto de Ingenieros de Chile constituyó una Comisión de trabajo denominada "Ingeniería y Astronomía" presidida por el señor Juan Carlos Barros, este grupo de estudio en agosto de 2018 organizó el "Panel de Desarrollo de la Astronomía en Chile" quien, en la conferencia, concluyó que siendo Chile la capital mundial de la observación astronómica, brinda oportunidades de desarrollo para una ingeniería de alto valor agregado más allá de los servicios que ya están prestando las empresas locales. A continuación, el señor Leonardo Vanzi, del Centro de Astroingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, disertó sobre las oportunidades para el desarrollo de nuevas empresas de base científica y tecnológica, concentrando su ponencia en las posibilidades de diseño y fabricación de instrumentos en el país.

Estrechamente concatenado con lo anterior, el presidente de la Comisión de Formación de Ingenieros, señor Jorge Yutronic, presentó, en octubre de 2018, el Informe del trabajo realizado "La Formación de Ingenieros Civiles en Chile". En dicha ocasión participaron también los señores Juan Enrique Morales y Juan Carlos Espinoza, y la señora Marcela Ángulo. La Comisión realizó un detallado análisis de lo que ocurre en diversas universidades del país y del extranjero, y recogió el llamado de atención que hizo la UNESCO en 2011, en el que señala que los desafíos del Milenio no están suficientemente abordados por los ingenieros.

En noviembre de 2018 se presentó la conferencia "Compromiso País", dictada por el Ministro de Desarrollo Social don Alfredo Moreno Charme, Ingeniero Civil de la Pontificia Universidad Católica y MBA de la Universidad de Chicago, quien recorrió la situación de los problemas que afectan a los habitantes del país. En particular, se refirió al denominado *"Mapa de la vulnerabilidad"*, a los aportes de la Teletón, institución que actualmente preside, y a Techo para Chile. Todos ellos como aporte a la identificación de los afectados y a la búsqueda de solución a sus problemas.

Finalmente, destacan las entrevistas que se realizaron a los destacados ingenieros señores Alejandro Steiner y María Ofelia Moroni. Un extracto de estas entrevistas se incluye en la presente edición de la Revista del Instituto.

PANEL "DESARROLLO DE LA ASTRONOMÍA EN CHILE. OPORTUNIDADES PARA LA INGENIERÍA"

Sres. Juan Carlos Barros, José Maza S, Ph. D en Astrofísica y Leonardo Vanzi, Ph. D, Miembro y Jefe del Laboratorio de Instrumentación del Centro de Astro-ingeniería del PUC.

El día viernes 31 de agosto de 2018, en el Club de la Unión, ante la asistencia de personalidades del ámbito público y privado, se realizó el Panel: "Desarrollo de la Astronomía en Chile. Oportunidades para la Ingeniería".

En la ocasión, dos destacados profesionales comentaron desde su perspectiva, los aspectos principales que se tratan en el Informe de la Comisión: "Desarrollo de Competencias Tecnológicas a Raíz del Incremento en la Capacidad de Observación Astronómica en Chile", que presidió el Sr. Juan Carlos Barros M., Presidente de la Comisión de Ingeniería y Astronomía del Instituto de Ingenieros.

La presentación de este Panel estuvo a cargo del Sr. Juan Carlos Barros. A continuación, los señores José Maza S., Ph. D en Astrofísica, Premio Nacional de Ciencias Exactas (1999), y el Sr. Leonardo Vanzi, Ph. D, Miembro y Jefe Miembro y Jefe del Laboratorio de Instrumentación del Centro de Astro-ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, comentaron desde su perspectiva, los aspectos principales que se tratan en el Informe.

(En relación con la exposición del Sr. Maza, esta no fue posible publicarla. Si fue posible consignar una respuesta que dio a una consulta que se le formuló.)

En su introducción, el Presidente del Instituto Sr. Luis Nario, aprovechó la oportunidad de agradecer públicamente al Sr. Juan Carlos Barros y a los Miembros de la Comisión: Lucas A. Cieza, Rodrigo Gómez A., Ricardo Nanjarí R. y Pedro Toledo C., el trabajo realizado.

A continuación las presentaciones de los invitados:

Presentación del Panel e Informe. Juan Carlos Barros.

—En primer lugar, quiero agradecer al Directorio del Instituto de Ingenieros de Chile por acoger y apoyar esta iniciativa, que nació por una inquietud personal, a raíz del buen momento por el que estaba pasando la astronomía chilena y el impacto que podría tener esto en la ingeniería.

Tal como indicó el Presidente del Instituto, es un hecho cierto que hoy Chile es reconocido como la capital mundial de la observación astronómica. Ante esta realidad cabe preguntarse, si este hecho, puede representar oportunidades de desarrollo para una ingeniería de alto valor agregado, más allá de los servicios que ya están prestando las empresas locales.

El trabajo realizado por la Comisión que me correspondió presidir, ha concluido que Chile tiene condiciones y capacidades instaladas, infraestructura, grupos de investigación y desarrollo y recursos humanos para desarrollar competencias tecnológicas asociadas a la ingeniería para la astronomía.

Esto debido a que además de las condiciones atmosféricas únicas y acuerdos de colaboración suscritos con consorcios astronómicos internacionales, el país cuenta con una dotación de científicos e ingenieros, tiene centros de investigación y desarrollo tecnológico, profesionales e ingenieros competentes, en algunas de las áreas que requieren los observatorios astronómicos.

Existen oportunidades que pueden ser aprovechadas para diseñar y fabricar instrumentos especializados, realizar el mantenimiento especializado de ellos, actualizar tecnológicamente equipos y sistemas y desarrollar empresas de base científica-tecnológica.

En el documento que ustedes van a recibir se presenta una serie de propuestas que, de acogerse estamos seguros irán en beneficio de la ingeniería, los ingenieros y el país. Estas las podemos sintetizar en: incorporar en los futuros convenios, que suscriba el Estado de Chile, cláusulas que fomenten el desarrollo de competencias tecnológicas locales y la creación de nuevas empresas de base científico-tecnológica, incrementar el número de científicos e ingenieros que trabajen en áreas relacionadas con la astronomía y desarrollar una industria global de Big Data.

Exposición de Leonardo Vanzi.

—Muchas gracias al Instituto por invitarme a este Panel; un gusto estar acá en esta hermosa arquitectura, algo bastante inusual en Chile, y que me recuerda bastante a mi país. Confieso que me siento un poco intimidado porque normalmente doy clase en la universidad entonces, soy el más viejo, tengo autoridad en los jóvenes, pero acá parece que soy yo de los más jóvenes, así que no sé qué autoridad pueda tener para hablarle a ustedes, sobre ingeniería e instrumentación. Bueno, espero que mi trabajo me dé algo de autoridad y que lo que les voy a contar les interese.

El título que me asignaron es bien importante. Yo mantuve el que estaba en el programa, o sea, las posibilidades de diseño y fabricación de instrumentos astronómicos y oportunidades para el desarrollo de nuevas empresas, de base científica y tecnológica en Chile.

Les voy a hablar de diseño y fabricación de instrumentos astronómicos, ese es el tema que me apasiona desde siempre.

Como anécdota, como se nota en el acento, soy extranjero, italiano, nací en Florencia y fui al Jardín al lado de la casa de Galileo. Entonces, como ven, el tema de la Astronomía, de los telescopios, siempre estuvo presente de alguna manera en mi vida.

En cuanto a oportunidades para el desarrollo de nuevas empresas, como yo no soy empresario, voy a destacar algunos elementos que, en mi opinión, sí pueden aportar a eso, voy a hacer mi mejor esfuerzo en ese sentido.

Como se mencionó, trabajo en el Centro de Astroingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, estamos instalados en este edificio (Figura 1).

Figura 1

En el edificio de innovación en el campus San Joaquín. Estamos en el piso 6 del edificio; ahí tenemos bastantes actividades, relacionadas evidentemente con la astroingeniería. En computación, en diseño de instrumentos ópticos, radio, etc. Le voy a presentar solamente una parte de esto, lo que hacemos en instrumentación óptica infrarroja que principalmente es mi área de trabajo. Pero no es lo único que se hace.

Estos son los proyectos en los que hemos estado trabajando desde que yo entré a la Universidad Católica para aportar al desarrollo de esa área el 2008 (Figura 2).

Experiencia en el Centro de Astro Ingeniería UC (2008 - 2018)

1) 2008-2011	construcción del espectrógrafo PUCHEROS	Obs-UC	5 FTE, $ 25 K €
2) 2011-2016	construcción del espectrógrafo FIDEOS	ESO La Silla	20 FTE, $ 100 K €
3) 2010-2020	participación (7%) en el consorcio MOONS	ESO VLT	200 FTE, $ 10M€
4) 2015-2022	construcción del espectrógrafo TARdYS	TAO	25 FTE, $ 500 K €
5) 2018-2024	construcción del espectrógrafo PLATO-Spec	ESO La Silla	25 FTE, $ 500 K €

2 instrumentos operativos y que generan resultados científicos
3 proyectos en desarrollo con partners internacionales

Figura 2

Y partimos ahí con un instrumento, un **espectrógrafo** que se llama PUCHEROS (a propósito de siglas idiotas que mencionaba José Maza), nuestro primer instrumento se llama Pucheros, lo desarrollamos a partir del 2008, dos personas con un presupuesto bien limitado, acá está indicado el presupuesto aproximado para el hardware; solamente en equipamiento, hablamos de 25 mil Euros aproximadamente, dos personas trabajando unos 3 años. El instrumento está instalado en el observatorio de la Universidad Católica, está funcionando, es un espectrógrafo de alta resolución.

A continuación, les voy a hablar sobre **velocidades radiales**, nuestro objetivo es principalmente medir velocidades de estrellas con precisión. Ahí logramos una precisión de aproximadamente 50 m/seg. en la medición de estrellas, esto se financió con un proyecto FONDECYT.

Después, partimos con un proyecto bastante más grande que lo llamamos FIDEOS, que también es un espectrógrafo de alta resolución, pero de tamaño y tecnología bastante más avanzada. Lo instalamos en el observatorio La Silla el año 2016, costo aproximado en hardware de 100 mil Euros. Un trabajo de un equipo más numeroso, pero siempre de jóvenes alumnos.

Yo no trabajo con ingenieros de gran experiencia. Yo junto con los instrumentos "construyo" también a los ingenieros, porque son jóvenes que llegan sin experiencia y la experiencia la van adquiriendo en el proceso.

Finamente, somos parte de un consorcio de 10 institutos europeos, 9 más nosotros que estamos construyendo un instrumento para el telescopio VLT de Paranal; se trata de un esfuerzo mucho más importante de recursos humanos y también de costo, 10 millones de dólares, a lo que nosotros aportamos un 7%.

Tenemos un espectrógrafo que se llama TARdYS para el TAO, el telescopio de la Universidad de Tokio que se va instalar a 5.600 metros, el más alto del mundo. Y recién constituimos un consorcio con dos universidades en Alemania y la República Checa para construir otro instrumento para el observatorio de La Silla.

A este yo lo quería llamar POSTRE, era como un nombre bonito, que además está el postre esperándome, pero los europeos no quisieron, entonces le pusimos finalmente PLATO-Spec.

En resumen, tenemos 2 instrumentos cooperativos que son **Pucheros y Fideos** construidos en Chile y tenemos 3 proyectos que son muy importantes con colaboraciones internacionales.

Acá en esta diapositiva de alguna manera quise expresar cuales son en mi opinión los ingredientes fundamentales para la construcción de un instrumento astronómico y los distribuí según lo que me pareció una jerarquía de alguna manera (Figura 3).

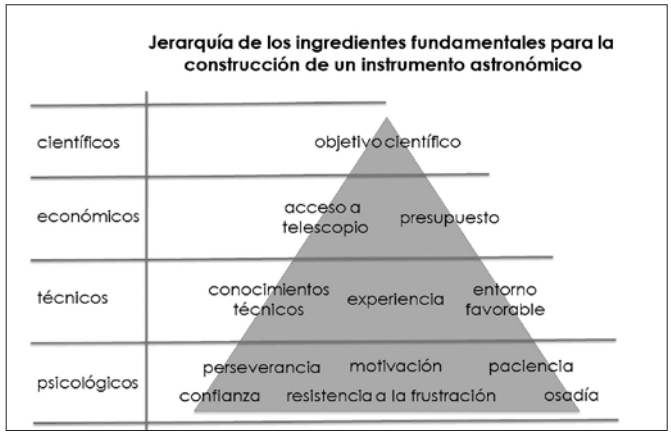


Figura 3

Siendo que lo más importante son los ingredientes científicos, el objetivo científico es lo que nos motiva, es decir a qué pregunta queremos responder.

Ingredientes económicos, como accesos a telescopio y presupuesto. Evidentemente, en acceso a telescopio, hay que destacar que nosotros en Chile, tenemos 10% de tiempo de observación, eso significa que vamos allí, ocupamos el telescopio y los instrumentos que están instalados, pero no tenemos acceso a un telescopio para instalar nuestros instrumentos. Ese es un tema totalmente distinto. Que creo que ustedes lo mencionan en el estudio.

Necesitamos evidentemente ingredientes técnicos, como conocimientos, experiencia, un entorno favorable, es super importante; si yo necesito algo, es importante que el entorno nos pueda dar ese algo, esa herramienta, esa tecnología. Y finalmente psicológicos, esto es super importante, cuando llegué y me metí en este tema, había subestimado totalmente ese aspecto, pensaba que alumnos de ingeniería me iban a ayudar, pero ¿cuál es el problema? Acá hay un tema psicológico bien fuerte. Eso incluye muchas cosas, confianza, motivación, paciencia. La confianza es super importante. Si el tipo que trabaja contigo no tiene la confianza, no sabe que sí lo puede hacer, sino que piensa todo lo contrario que no puede, que nunca construyó nada y que en su familia nunca construyeron nada, y no tiene una tradición y no siente como esa motivación, eso es importante. También lo son la resistencia a la frustración y la osadía.

Volviendo al objetivo científico, hay muchas cosas que se pueden hacer, pero en lo que estamos enfocados nosotros es la medición de velocidades de estrellas (Figura 4).

¿Por qué?, hay muchas razones para medir la velocidad de las estrellas, pero una que especialmente actual, es el estudio, la búsqueda de planetas extra solares.

Entonces acá tenemos una estrella y un planeta. Planeta muy débil, muy chico que no se puede ver, pero sí genera un efecto en el movimiento de la estrella, ese efecto también es bastante chico. Pero sí se puede detectar. Entonces cuando la estrella se aleja, por efecto Doppler la radiación de ella se desplaza hacia el rojo, cuando se acerca a nosotros, se desplaza hacia el azul y viendo este desplazamiento periódico en el espectro de una estrella nosotros podemos medir su movimiento. Ahora, un planeta como Júpiter, por ejemplo, genera un movimiento en el Sol de unos metros por segundo. Entonces necesitamos una precisión de m/seg. Un planeta como la tierra genera movimiento en el Sol en orden de centímetros/seg. Por eso es importante ir mejorando la precisión con la que medimos velocidad.

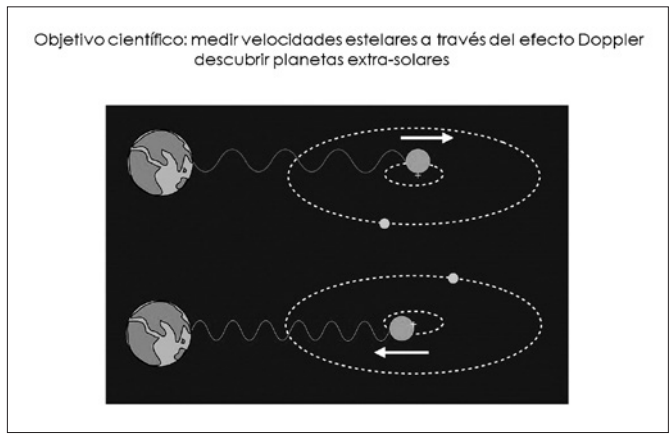


Figura 4

Ahora le hablaré de Fideos que es nuestro proyecto más actual y exitoso porque está instalado y funcionando en el Telescopio ESO 1m (Figura 5).

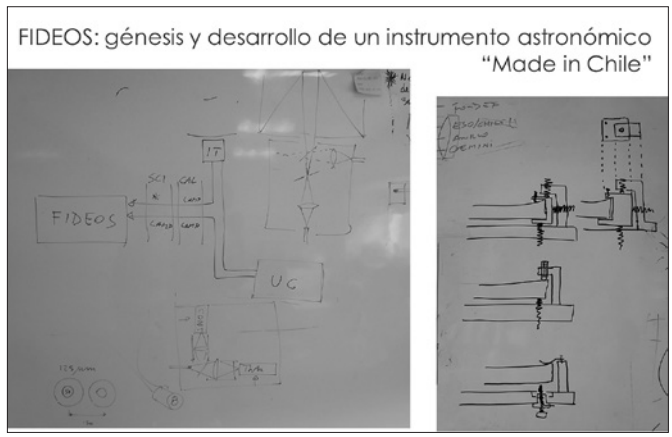


Figura 5

Partimos con un bosquejo en una pizarra, dibujando soportes de elementos ópticos, los cuales después se convierten en dibujos técnicos, que lo pasamos al taller mecánico o a una empresa para que lo realicen (Figura 6).

Acá tenemos nuestro taller mecánico con uno de mis alumnos trabajando, haciendo piezas para el instrumento, le voy a mostrar algunas fotos del proceso de fabricación del instrumento (Figura 7).

Acá nos vemos todos felices, pero es que, la verdad hay momentos en que estamos felices y otros en que estamos muy preocupados (Figura 8).

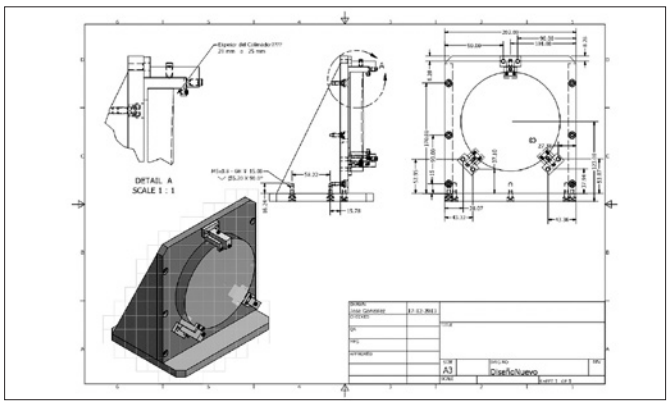


Figura 6

Figura 7

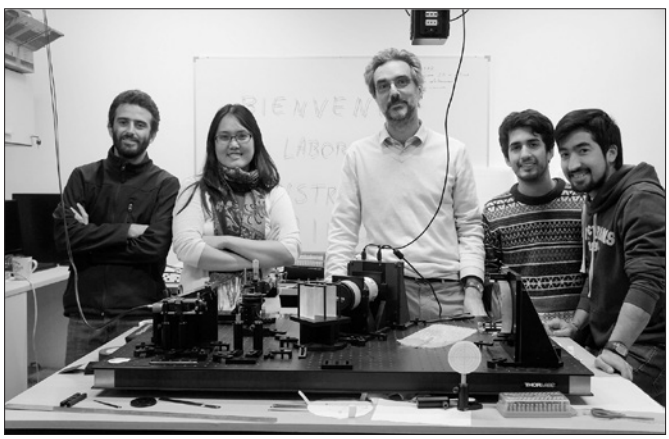


Figura 8

En la foto sacamos la sonrisa, pero la construcción de un instrumento, aunque chico como éste es bastante compleja. Ahí intervienen la tolerancia a la frustración y los otros aspectos que mencioné.

También está una parte del equipo de jóvenes investigadores: Matías, un post doctorado que después fue a trabajar en la ESO, Suri, es una alumna de doctorado que ahora está con un post doctorado en Estados Unidos, Francisco, un alumno de Ingeniería de la UC y Mauricio es un alumno de la USACH y vino a hacer su memoria con nosotros.

Este es el instrumento durante su fabricación en nuestro laboratorio, es un instrumento que recibe la luz del telescopio a través de fibras ópticas (Figura 9).

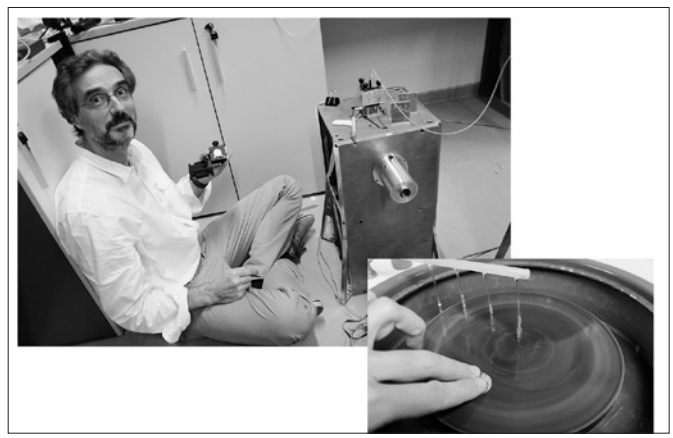


Figura 9

Esa luz de la fibra se proyecta en la óptica del instrumento. Acá tenemos un espejo, acá tenemos una grilla de difracción, prismas de dispersión, un objetivo el detector. Este fue un momento especialmente frustrante del proceso, estoy ahí sentado en el piso, teníamos ahí una pieza que no se alineaba con el resto, acá es donde recibimos la luz del telescopio, normalmente esto estará instalado en el telescopio, recibimos la luz y la injertamos en la fibra y de ahí la luz se va a la otra parte del instrumento. Entonces estábamos con varios problemas con esa pieza.

También estoy haciendo el pulido de un espejo en el laboratorio de superficie del Departamento de Mecánica y Metalurgia de la UC.

Éstas también son piezas que nos costaron mucho, el diseño es nuestro y las fabricamos en una empresa acá en Santiago (Figura 10).

Cuando mencioné la importancia del entorno, también está encontrar empresas que puedan hacer lo que nosotros necesitamos, es difícil, y a veces tenemos que empujar la tecnología que ellos manejan, porque le pedimos cosas que para ellos no son habituales.

Figura 10

Bueno el desafío, la aventura, cuando partimos con todo nuestro equipo, dos alumnos y yo, un furgón arrendado (Figura 11).

Figura 11

Ese fue un momento en que francamente estaba bastante preocupado con todo el equipo que había costado 4 años de trabajo y todos los costos asociados y con dos alumnos, manejando 650 kilómetros de Santiago a La Silla. Y para salir, además, del sector de San Joaquín hay unos lomos de toro horribles que son como de, no sé, medio metro, teníamos el equipo todo alineado, perfecto. Yo me sentía mal, no sabia con qué iba a llegar, porque la última parte del camino hasta La Silla estaba en condiciones desastrosas.

Bueno, el telescopio de un metro de La Silla, uno de los primeros telescopios instalados por la ESO en Chile estaba en desuso, nosotros lo renovamos entero (Figura 12).

Figura 12

Tenía un sistema de control de los años 70, estaba controlado por un computador super antiguo, por los estándares de los computadores, un HP 1000. Tenía un sistema con más de 50 años de edad. Entonces nosotros lo renovamos entero, instalamos nuestro equipo, nuestro instrumento acá Abner, uno de los estudiantes, alineando la pieza que está colgando del telescopio (Figura 13).

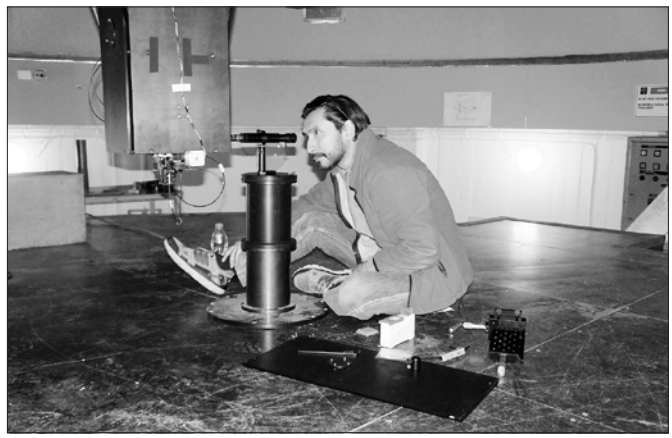


Figura 13

Acá, mucho trabajo, controlando el telescopio en la noche del lugar mismo (Figuras 14 y 15).

Este es el telescopio de un metro, estábamos en las primeras noches ahí con una caja, un laptop, viendo cómo funcionaba la cosa. También una visión del telescopio de un metro (Figura 15), se aprecia una parte de la fibra óptica que recibe la luz del telescopio y se va a través de ese tubo naranja que también se ve ahí, un piso más abajo donde está instalado el espectrógrafo.

Figura 14

Figura 15

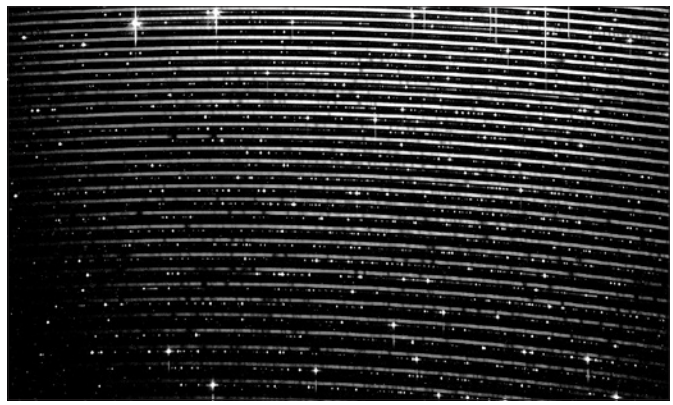


Figura 16

Figura 17

Esto es uno de los primeros espectros que sacamos con nuestro instrumento (Figuras 16 y 17).

Como no soy poeta, no soy literato no hay forma que les pueda expresar la emoción que uno siente en el momento en que el instrumento al que le dedicamos todo, muchos años de trabajo, genera un resultado. Así que cuando eso apareció en el monitor del computador, nosotros lloramos, fue con mis alumnos, fue realmente un momento muy emotivo, muy fuerte.

La Figura 16 es un espectro de la estrella Antares en alta resolución, cada línea que vemos acá es un pedazo dispersado de luz, dispersado en sus colores. Y vemos las bandas obscuras son bandas de absorción que se generan en la atmósfera de la estrella que nos permiten medir esos desplazamientos hacia el rojo o hacia el azul. Eso es lo que nosotros principalmente medimos, la posición de esa banda o línea de absorción con respecto a una referencia que son estos puntitos que se ven al lado del espectro de la estrella. Los puntitos son líneas de emisión de una lámpara de calibración de comparación para saber cuál es la longitud de onda.

Para que se entienda mejor, éste es un espectro de una luz de calibración en colores (Figura 17). Para que se vea que estamos dispersando la luz en sus colores, sea en las dos direcciones, horizontal y vertical.

Otra foto que nos sacamos después de todo este esfuerzo con los que estábamos allá y el telescopio (Figura 18).

Esto es el resultado, a través de un proceso de análisis, de los datos a partir de los cuales extraemos la información del espectro, que finalmente resulta ser ésta (Figura 19).

Es un pedazo del espectro de la estrella con las líneas de absorción. Para cada una de ellas medimos la longitud de onda y medimos el desplazamiento con respecto a la longitud de onda esperada para la estrella quieta.

Figura 18

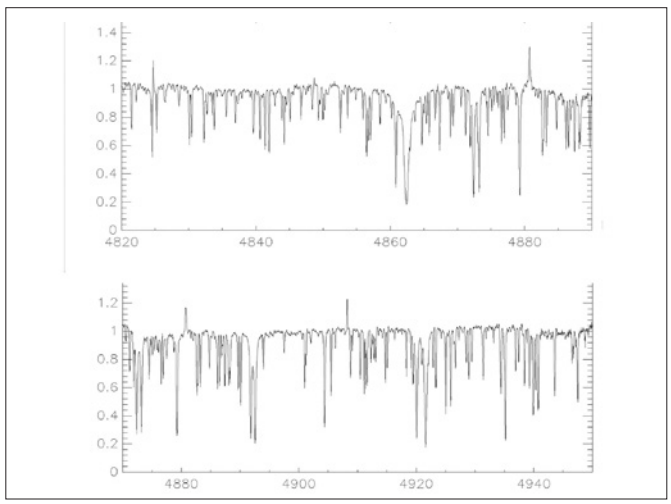
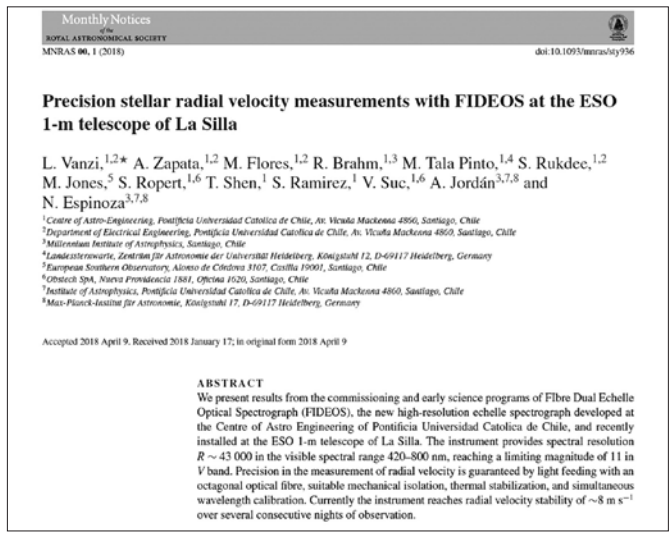


Figura 19



Monthly Notices of the ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY

MNRAS 00, 1 (2018) doi:10.1093/mnras/sty936

Precision stellar radial velocity measurements with FIDEOS at the ESO 1-m telescope of La Silla

L. Vanzi,[1,2]★ A. Zapata,[1,2] M. Flores,[1,2] R. Brahm,[1,3] M. Tala Pinto,[1,4] S. Rukdee,[1,2] M. Jones,[5] S. Ropert,[1,6] T. Shen,[1] S. Ramirez,[1] V. Suc,[1,6] A. Jordán[3,7,8] and N. Espinoza[3,7,8]

[1] Centre of Astro-Engineering, Pontificia Universidad Catolica de Chile, Av. Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile
[2] Department of Electrical Engineering, Pontificia Universidad Catolica de Chile, Av. Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile
[3] Millennium Institute of Astrophysics, Santiago, Chile
[4] Landessternwarte, Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg, Königstuhl 12, D-69117 Heidelberg, Germany
[5] European Southern Observatory, Alonso de Córdova 3107, Casilla 19001, Santiago, Chile
[6] Obstech SpA, Nueva Providencia 1881, Oficina 1020, Santiago, Chile
[7] Institute of Astrophysics, Pontificia Universidad Catolica de Chile, Av. Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile
[8] Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg, Germany

Accepted 2018 April 9. Received 2018 January 17; in original form 2018 April 9

ABSTRACT

We present results from the commissioning and early science programs of FIbre Dual Echelle Optical Spectrograph (FIDEOS), the new high-resolution echelle spectrograph developed at the Centre of Astro Engineering of Pontificia Universidad Catolica de Chile, and recently installed at the ESO 1-m telescope of La Silla. The instrument provides spectral resolution $R \sim 43\,000$ in the visible spectral range 420–800 nm, reaching a limiting magnitude of 11 in V band. Precision in the measurement of radial velocity is guaranteed by light feeding with an octagonal optical fibre, suitable mechanical isolation, thermal stabilization, and simultaneous wavelength calibration. Currently the instrument reaches radial velocity stability of ~8 m s^{-1} over several consecutive nights of observation.

Figura 20

Figura 21

Finalmente, a principios de este año presentamos un paper de nuestro trabajo y fue aceptado. Fue un resultado tan emocionante como ver el primer espectro (Figura 20). Bien importante obtener un paper de instrumentación chilena, aceptado además en una revista europea Monthly Notices, fue un logro bastante importante para nuestro equipo.

Esta foto también es muy importante porque acá estamos en el edificio que les mostré al principio de mi presentación (Figura 21).

Estamos en nuestro querido 6° piso del Edificio de Innovación, controlando el telescopio de La Silla desde ahí. O sea, ésta es la primera Estación de Control Remoto de un telescopio, que está en La Silla a casi 650 kilómetros de distancia, en nuestra Universidad. No sé si hay otra experiencia de este tipo en otras universidades chilenas. Pero es un resultado bien importante porque ahora podemos observar desde nuestra oficina. Yo tengo 2 días por semana alumnos quedándose ahí, trabajando hasta no sé a qué horas, porque la verdad yo a cierta hora me voy y los dejo, para mi pasó la época de quedarme en la noche. Ya pasé muchas noches trabajando y observando, ahora los dejo a ellos. En realidad, la próxima semana vamos a La Silla, así que ahí me tocará también la noche; a veces pasa!

Así es que, tratando de resumir un poco, de todo esto, de esta experiencia ¿qué es lo que podemos rescatar y cuáles son los beneficios para la Academia, cuáles son los beneficios para el país y eventualmente para las empresas nacionales? Yo destaco tres puntos (Figura 22):

1. La adquisición de capacidades técnicas en muchas áreas, en diseño, manufactura, gestión de proyectos; este último es también un aspecto bien importante, tener la capacidad

Figura 22

de manejar este tipo de proyectos. Que en algunos casos son académicos, pueden ser proyectos de empresas o de emprendimiento. Finalmente, la adquisición de tecnología que no está presente en el país.

2. El desarrollo de una cultura y una confianza. Cultura de la construcción, de la idea que podemos armar cosas, lo podemos hacer. Una experiencia de este tipo creo que es super importante porque el alumno, el ingeniero que participó en eso va a decir: "Ya yo lo hice, yo puedo hacerlo, puedo aportar a este tipo de desafíos".
3. Finalmente, el desarrollo de una imagen país y de una credibilidad científica internacional. Esto se publica, se ve, se sabe. La gente sabe que hay en Chile gente que sí tiene esta capacidad.

Acá otros miembros del equipo, muestro esta foto porque es importante destacar (Figura 23).

Figura 23

Una se fue a Estados Unidos, otro es un ingeniero que el próximo mes viaja Japón para la colaboración que tenemos con el TAO. Otro va a la República Checa, otro va a Japón, también otro se va a Australia en octubre. O sea, estos chicos digamos que tienen una proyección bien internacional.

Así que mi última diapositiva representa nuestra mirada, desde el AIUC, como abrimos puentes hacia todo el mundo (Figura 24).

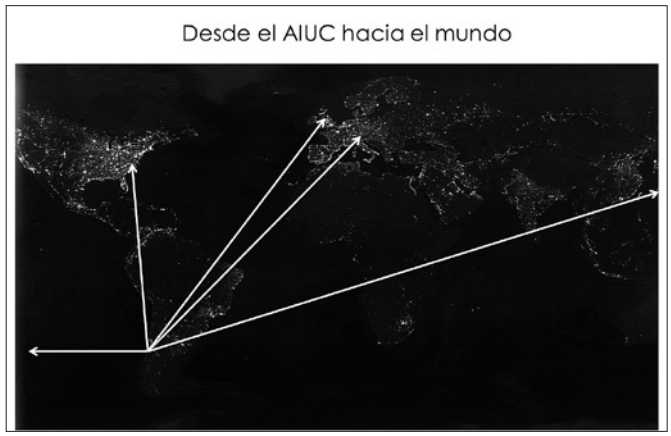


Figura 22

Muchas gracias.

(Aplausos).

Al término de las exposiciones, los invitados respondieron consultas de los asistentes. A continuación reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

Sr. Cristian Puebla.

—Soy oficial de la Fuerza Aérea, mi pregunta específica es para Leonardo Vanzi. En vista de lo que ha mostrado, me da la impresión de que esa pirámide a lo mejor en términos de importancia y debiéramos invertirla, que el mayor esfuerzo está en cambiar esa cultura, sobre todo en un país que culturalmente tiene aversión al riesgo. Ahí tú pusiste la osadía que es fundamental. Y aquí viene la pregunta, ¿hay un cambio en esa cultura, hay una osadía mayor o todavía no, y si es así, ¿cómo podemos incentivar esa mayor osadía y ese cambio cultural?

Sres. José Maza, Leonardo Vanzi, Juan Carlos Barros y Luis Nario.

Sr. Leonardo Vanzi.

—Sí, muy buen punto. Yo en mi vida siempre he sido muy atrevido. Yo no lo pensé dos veces para venirme a Chile, dejar todo, entonces yo estoy bastante en esa línea. Y cuando llegué a la Universidad Católica y comencé a interactuar con alumnos; fue bien fuerte el choque. Porque comencé a proponer a los buenos: "… miren, tengo una colaboración en tal parte, ¿quieres ir?" El tipo se asustaba. Entonces cómo los mantenía a todos bajo fuerte objeción y a veces no aguantaban. Entonces me calmé un poquito también yo, y ahora con el tiempo igual a estos jóvenes les digo: Ya, mira, tenemos tal cosa en Japón, ¿Quieres ir? Oh, Japón… se asustan, pero ya lo conversamos. Hoy finalmente tengo a varios que en estos días, semanas y meses van a viajar, evidentemente son pocos, pero yo creo que van a viajar, les va a gustar, van a volver, van a contar, van a compartir eso, entonces son como semillas chicas, pero son semillas que creo aportan. Ahora generar un cambio así de un día para otro es difícil. Yo he trabajado en esto durante 10 años y comenzamos a ver resultados, claro que es un trabajo que necesita tiempo. Nosotros estamos siempre bajo presión de los proyectos que quieren resultados a los tres o 5 años, pero este es un proceso lento. Pero yo creo que la astronomía nos da justamente la oportunidad de generar un cambio en esa dirección y ese cambio podrá afectar la astronomía, así como otros ámbitos.

Sra. Raquel Alfaro.

—Tengo 61 años de profesión y me parece muy interesante su exposición. Verdaderamente uno se admira de los instrumentos que se utilizan en los distintos campos, no solo de la ingeniería, sino particularmente de la medicina. Y uno siempre piensa, ¿y estos artefactos, estas máquinas algún día se podrán diseñar, idear, proyectar aquí en Chile? Yo encuentro que esto que ustedes hacen es una semilla que estoy segura va a crecer y ojalá otras universidades también se interesen por tener acceso a que los alumnos aprendan a diseñar instrumentos que se nos vienen y a veces incluso podríamos mejorarlos, así, es posible que mentes jóvenes de Sudamérica puedan introducir nuevos adelantos.

Sr. Leonardo Vanzi.

—Sí, ahora debo destacar que yo hablé de lo que hago. Principalmente lo que hacemos en el Centro de Astroingeniería. Hay otras universidades que están haciendo esfuerzos parecidos. Hay otros grupos en la Universidad de Chile, en Concepción, en Valparaíso, hay bastantes movimientos en las universidades nacionales. Y hay grupos parecidos al nuestro que trabajan en líneas distintas, pero siempre en el ámbito de Astroingeniería.

Sres. Juan Carlos Barros, Germán Millán, Cristian Hermansen y Luis Nario.

Sr. Pedro Toledo.

—Mi pregunta específica es: Usted es un ingeniero, un científico de proyectos como FIDEOS, en donde hay una carga administrativa importante comparado con proyectos como MUNS en donde tienen un consorcio. ¿Cuál es el porcentaje del tiempo, finalmente dedicado a administración más que a ciencia?

Sr. Leonardo Vanzi.

—Creo que en Chile, a pesar de lo que los chilenos puedan opinar, siempre uno se queja de su país, eso es normal, ve sus defectos, etc., hay herramientas que son bastante buenas para el financiamiento de la investigación. Por ejemplo, FONDECYT, lo encuentro bien bueno, a pesar de que ahora la tasa de aprobación está bajando, el presupuesto está bajando, eso es sin duda es un problema. Pero es un proyecto cuyo manejo es relativamente simple. Hay otros que efectivamente son bastante complejos. Ahí yo no puedo opinar, yo peleo duramente con los burócratas y la administración, pero no puedo opinar, y tengo que digamos, aceptar que es el procedimiento que, si está definido así, por algo será. El FONDECYT es lo más chico en los proyectos, es bastante simple de manejar y a medida que va aumentando el monto, también aumenta la carga administrativa y eso, a veces para un científico es difícil de manejar. Parte a veces de la frustración que aparece en el trabajo.

Sr. Alejandro Steiner.

—¿Qué efecto produjo en la industria?, ¿cómo respondieron, qué cosas pudieron traspasar para fabricación local en electrónica, óptica, mecánica de precisión, que huella dejó en la industria y cómo reaccionaron a tiempo en presupuesto, a cuántos alcanzaron, cuantas empresas diferentes tocaron?

Sr. Leonardo Vanzi.

—Lamentablemente la tecnología que nosotros necesitamos no está muy presente en el país, así que gran parte de los componentes que nosotros ocupamos los compramos afuera, en Estados Unidos, en Europa principalmente. Ha habido un par de interacciones con empresas chilenas. Un ejemplo, esas placas que mostré que se realizaron en una empresa de manufactura mecánica en Santiago. Esa fue una experiencia muy positiva. Fue una buena experiencia, lo que pedíamos era un poco más allá de lo que ellos hacían normalmente, pero cumplieron finalmente. Fue en ese sentido una experiencia buena. Ahora nuestro volumen de actividad es muy modesto. O sea, nosotros necesitamos una pieza especial, pero la hacemos una vez. Pero otra pieza de alta precisión que necesitábamos, la realizamos en Calán, donde tienen una máquina CNC de altísima precisión. Esa, por lo que yo sé, no está disponible en ninguna otra parte en Chile, posiblemente incluso en la región, algo tal vez deben tener en Brasil. Pero como es una

Sres. Ricardo Nicolau del Roure, Héctor González, Jorge Bravo, Fidel Henríquez y Raúl Demangel.

herramienta super, super especial también es un producto, una de las tecnologías que la astronomía permitió traer al país. Pero, así como impacto masivo en la industria chilena, no.

Sr. Tomás Guendelman.

—En verdad la pregunta puede ser a cualquiera de los dos expositores, pero en este caso preferiría si la puede contestar José Maza, porque acabo de leer su libro sobre Marte y me sentí muy identificado con una anécdota que escuché hace mucho tiempo atrás que se refiere a un gran sismólogo chileno que vive en Francia que se llama Armando Cisternas, no sé si es conocido para ustedes, es una de las autoridades mundiales en el área. Y comentaba que en una ocasión entró a un café en París y vio que estaba Atahualpa Yupanqui que era un Folclorista argentino muy destacado y se le acercó y le dijo, don Atahualpa usted y yo hacemos lo mismo. Entonces Atahualpa Yupanqui le dice, ¿es usted músico? No yo soy sismólogo. Pero, así como usted le canta a la tierra, yo escucho a la tierra cantar. Esa anécdota la encontré de vuelta en el libro y la encontré de vuelta en las conversaciones de pasillo que tuvimos antes de ingresar a la sala. Siendo esta una disciplina con la cual la gente se pretende ganar la vida, pero que en el fondo más que nada busca un placer intelectual íntimo, si es posible conocer alguna de estas experiencias que ustedes viven y qué los estimula y que puede ser un factor muy trascendente para captar el interés de las juventudes al ver que esto produce algo más allá que el simple hecho de ganarse la vida.

Sr. José Maza.

—En un momento dado, yo tuve la osadía de construir un telescopio robótico en Tololo y funcionaba; nosotros no teníamos que quedarnos observando el telescopio cómo funcionaba, funcionaba solo, pero teníamos que ponerle una cúpula al telescopio y una cúpula costaba en 40 o 50 mil dólares y por ese monto o un poquito menos podíamos construirla en Chile y bueno yo ingenuo, dije para que vamos a gastar plata afuera, los canadienses que se queden con sus cúpulas. Y un joven de ingeniería mecánica nos diseñó una cúpula perfecta, realmente muy buena. Que era una estructura metálica de tres gajos por un lado y tres gajos por el otro. El diseño lo sometió a toda clase de análisis en el computador y era fantástico y después nos conseguimos tres empresas que nos hicieron la cúpula. 2 de ellas lo hicieron bastante bien y la tercera lo hizo bastante mal, en realidad es quedar corto, lo hizo pésimo. Así que la interacción nuestra con industria local fue en ese sentido, ganamos 2-1, pero ese uno era la hidráulica de la cúpula. La cúpula se tenía que cerrar con hidráulica y la empresa hidráulica que por prudencia no la voy a nombrar fue un fracaso total. Y cuando les reclamamos, le dijimos bueno, pero esto no funciona, ahiii, pero ustedes tenían que haber dicho otra cosa. Ellos hicieron una especie de Puente Cau- Cau que tuvimos ahí con la cúpula del telescopio robótico del Tololo. Porque la hidráulica tenía que mantener la presión para no abrir la cúpula. Pero ellos habían puesto unas válvulas que, si las mantenían durante un ratito funcionaba,

pero si la cúpula estaba cerrada 3 días se empezaba a abrir. El diseño en realidad tampoco era muy ingenioso, porque la posición de desastre de la cúpula era quedar abierta y en una tormenta uno no quiere que eso ocurra. Pero tuvimos muchos problemas y después encima los patudos nos dijeron: "bueno por 5 millones más nosotros se la dejamos como avión". Ahí ya nos metimos nosotros he hicimos lo que pudimos. Pero es complicada la realidad con la industria nacional, unos doblaron tubos de acero y lo hicieron perfecto y otra empresa nos puso unas cáscaras de fibra de vidrio que también quedaron muy bien, pero la hidráulica fue un fracaso.

Desde siempre la ciencia chilena ha sido artesanía pura. Pero por otro lado, lo que es muy triste es que yo creo que están las capacidades está el entusiasmo, la gente joven, pero si a uno todavía le queda entusiasmo por las dificultades, los cabros que están entrando están más preparados, más audaces a pesar de lo que dice Leonardo Vanzi. Tu no conoces el Chile de 50 años atrás, ahí sí que nadie se atrevía a ir ni a la esquina, ahora estamos audaces como país. Pero hay gente preparada en los observatorios, tanto en ALMA como en los otros, hay una cantidad enorme de ingenieros mecánicos, eléctricos de la Federico Santa María, de la Católica, de la Chile. Alumnos nuestros que yo los he visto pasar por Calán están ahora todos trabajando en ALMA o en Tololo o en Paranal. Hay mucha gente preparada. El material está, pero lo que pasa también y ese ha sido el gran desafío en la Chile nosotros desarrollamos, digamos, yo soy un producto de ese desarrollo, tipos que iban a observar, nos íbamos en un Andes mar Bus en la época de oro en los años 80 después ya empezamos a ir en otros medios a Tololo y subíamos y observábamos 3,4, 5 noches nos volvíamos con nuestros datitos, a veces en un papel anotado o en lo que fuera. Eso era relativamente barato, por ejemplo, en la Universidad de Chile un desarrollo un poco paralelo, pero complementario con lo que hace Leonardo Vanzi, hay un grupo que encabeza un ingeniero que es fantástico, entre ingeniero y astrónomo se llama Ricardo Finger han desarrollado los últimos 10 años un receptor para la banda 1 de ALMA. Alma definió como 9 bandas desde las de más alta frecuencia que son las más atractivas, pero la banda 1 la dejaron de lado porque es una banda como más trillada. La longitud de onda creo que es como 3 mm. Que no es considerada como muy desafiante, en ese lugar tan bonito hay que irse a longitudes de 1 mm o más bajas. Bueno Ricardo con un equipo de ingenieros con Leonardo Brosman y compañía han estado 10 años y diseñaron un receptor de la banda 1 que ha cumplido todos los estándares y ahora ya lo aprobaron y está sellado. Como son 66 antenas hay que tener 66 receptores, uno en cada antena. Ahora tienen que clonar 66 veces el receptor y claro en la Chile tenemos un laboratorio, tenemos ingenieros que trabajan en la banda 1 que es ondas de radio, pero no tenemos capacidad de hacer una fábrica. Si hiciéramos 1, imagínense, 1 al año nos vamos a demorar 66 años en hacer las 66 cuestiones. Ahora están armando un consorcio para construir los 66. Hay un doctorado en ingeniería eléctrica con mención en instrumentación astronómica. Y Ricardo Finger es el profesor y los alumnos de ingeniería eléctrica que están haciendo el doctorado van a Cerro Calán y están ahí.

Si uno tiene 20 millones de pesos para operar al año, bueno con eso uno se paga los viajes, va a una conferencia internacional, paga las publicaciones que tenga que hacer, con 20 millones está fantástico. A Leonardo le quedan en la muela 20 millones. En cerro Calán esa máquina CNC que es como una fresa de altísima precisión, mejor que una micra. Bueno, les costó creo como 150 mil dólares o euros una máquina no sé si es alemana o suiza. Y después le han tenido que agregar otras piezas y cuando uno le hace un agregadito, bueno ese agregadito son 40, 60, 80 mil dólares más. Yo creo que la capacidad de laboratorio que hay ahí instalado en Cerro Calán hoy día debe tener un costo superior a 300 mil dólares. Entonces yo creo que están todos los elementos, pero el problema es el financiamiento.

Y lo otro que también que ocurre en Chile, espero no molestar a nadie, muy particularmente, es como que se lo hubieran tomado los contadores auditores. "¿Usted va a hacer su instrumento, en cuanto lo va a hacer? en dos años, en tres años, ¿no sólo dos?". ¿Y qué capacidades va a tener?, ¿Cuándo va a estar listo? Pero si para poder aprender algo nuevo uno tiene que tener la libertad de equivocarse. Nadie aprende si no se equivoca. Alguien me decía a mí, con esto de los telescopios robóticos, había una especie de muro de los lamentos, todos los que estábamos construyendo telescopios robóticos nos juntábamos una vez al año. Y un inglés me decía, que tenía muy buen sentido del humor, muy inglés: "uno tiene que pensar muy bien el telescopio robótico, tiene que romperse la espalda en construirlo, y cuando lo termina de construir y está funcionando, ahí uno lo bota y construye el definitivo". Porque uno se pasa toda la vida tratando de arreglar lo que le quedó malo en el primero que uno construyó y ahí está todo malo. Decía, "uno tiene que pensarlo muy bien, hacerlo muy bien y al final botarlo construirlo, el prototipo es nada más que es de desecho", pero acá no.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Fin de la presentación.

PANEL "FORMACIÓN DE INGENIEROS CIVILES EN CHILE"

Sres. Jorge Yutronic, Presidente de la Comisión de Formación de Ingenieros, junto a los panelistas: don Juan Carlos Espinoza, Presidente de CONDEFI, Sra. Marcela Angulo, Gerente de Capacidades Tecnológicas de CORFO y don Juan Enrique Morales, Director de CODELCO. Los acompaña don Luis Nario, Presidente de Instituto de Ingenieros de Chile.

El día martes 23 de octubre de 2018, en el Club de la Unión, ante la asistencia de personalidades del ámbito público y privado, se realizó el Panel: "Formación de Ingenieros Civiles en Chile".

En la ocasión, tres destacados profesionales comentaron desde su perspectiva, los aspectos principales que se tratan en el Informe de la Comisión: "Formación de Ingenieros Civiles en Chile", que presidió el Sr. Jorge Yutronic F.

La presentación de este Panel estuvo a cargo del Sr. Jorge Yutronic. A continuación, la Sra. Marcela Ángulo G., Gerente de Capacidades Tecnológicas de CORFO, y los señores Juan Carlos Espinoza, Presidente de la Corporación de Facultades de Ingeniería de Chile – CONDEFI y Juan Eduardo Morales J., Director de CODELCO comentaron desde su perspectiva, los aspectos principales que se tratan en el Informe.

En su introducción, el Presidente del Instituto Sr. Luis Nario, precisó que la Comisión estuvo integrada por un grupo de profesionales socios del Instituto de Ingenieros y por otros invitados, con experiencia en este tipo de materias, que participaron en este grupo de estudio, y agradeció a cada uno de sus integrantes por el trabajo realizado, ellos son: Raúl Benavente G., Sally Bendersky S., José Ceroni D., Rocío Duque SM., Mario Letelier S., Edmundo López E., Eduardo Morales S. (Q.E.P.D.), Juan Music T., Alejandro Steiner T., Alejandro Suárez S., Luis Valenzuela P., Ximena Vargas M. y Jorge Vásquez P.

Presentación del Panel.
Jorge Yutronic F.

—Muy buenas tardes estimados colegas. Voy a hacer, en una apretada síntesis, como una suerte de motivación para que ustedes lean el libro. No pretendo explicar el contenido completo, porque además de ser largo, tiene muchos aspectos específicos que merecen una atenta lectura, en función de los intereses de cada cual. Algunos temas están orientados hacia el mundo académico, otros más a la empresa, otros a las políticas públicas, etcétera.

A esta Comisión le tomó un período largo de tiempo hacer su trabajo, porque nuestro enfoque fue ir abarcando todo lo relevante que ha venido ocurriendo en el país en el complejo ámbito de la formación de ingenieros y, a partir de ese conocimiento, opinar y hacer planteamientos, más allá de la mera proyección de los resultados de lo que está en curso.

El plan de la presentación de hoy se presenta en la Figura 1A.

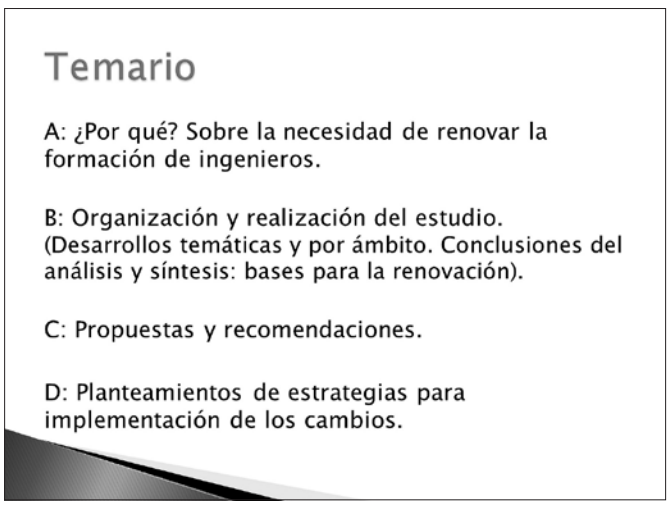


Figura 1A

Luego de los dos primeros temas, voy a pasar directamente a algunas propuestas y recomendaciones. Y muy importante, a las estrategias para abordarlos dado que esto conlleva una cierta complejidad.

¿Cómo se inició este trabajo? Primero, por una constatación de que nuestros ingenieros, varios de nosotros mismos que estamos acá y que están en distintas partes del país ejerciendo la profesión, presentan limitaciones importantes en innovación (Figura 2A).

Figura 2A

Nos es dicho desde otras profesiones, incluyendo los médicos, que los ingenieros chilenos hablan mucho de innovación pero hacen poco. Levantando la mirada vemos que éste es un problema continental. Por eso, es conveniente tener presente el trabajo del Banco Mundial que señala: América Latina, mucho emprendimiento, pero poca innovación.

Entonces tenemos un elemento cultural del cual debemos hacernos cargo.

Además, existen problemas de calidad en algunas obras y productos de ingeniería en que participan profesionales chilenos (Figura 3A).

Figura 3A

En particular, esto se aborda en una publicación del Instituto del año 2012 resultado de la Comisión dirigida por Luis Valenzuela en la cual se estudiaron unos veinte proyectos. ¿Y por qué tuvieron problemas? No los abordaremos ahora caso a caso, pero podemos decir que la cartera estudiada supera los 5 mil millones de dólares de inversión en Chile, algunos con importantes problemas de diseño, de implementación y de gestión de la ingeniería. Entonces dijimos, aquí hay un tema del cual hacernos cargo.

Otro factor que mencionamos es la "zona cómoda". En general, los ingenieros son profesionales que en su trabajo habitual les va bien, son reconocidos como un aporte a la sociedad chilena y son bien remunerados. Vale decir, una zona relativamente cómoda a pesar de la necesidad de actualización tecnológica y de los desafíos de productividad de las empresas.

Esos son los factores principales que tenemos que abordar.

Algunas de las causas que encontramos de esta situación son de origen académico (Figura 4A) y otras se originan en el ejercicio de la profesión (Figura 5A).

Algunas causas académicas han venido siendo entendidas por el Ministerio de Educación con los trabajos que se han hecho desde 2006-2007 en el MECESUP - DFI. Se han abordado brechas de: duración de carreras; perfiles de ingreso; perfiles de egreso; falta de homologación internacional; un problema crítico de retención de estudiantes en el primer año, de progresión de estudiantes y de titulación oportuna; cambios en los comportamientos y características de los estudiantes; currículo; metodologías efectivas de enseñanza-aprendizaje. Y también unas brechas entre la docencia y la investigación y desarrollo, entre la docencia y la industria. Asimismo, una escasa internacionalización y una limitada digitalización.

Es decir, existen varios factores que es necesario atender en el mundo académico, no solo la formación.

Por otra parte, y muy importante, es necesaria una revisión sobre el ejercicio de la profesión, desde las funciones (concepción, diseño, implementación, operación y otras) hasta las prácticas. En particular, en la realización de proyectos en diversos ámbitos y formas de participación en las industrias (Figura 5A). Este tema del ejercicio de la profesión podrá ser materia de otro trabajo del Instituto.

Además, como una conclusión de los dos tipos de factores anteriores, tenemos que orientarnos a un desempeño más alto de nuestras Facultades de Ingeniería. En esta oportunidad no abordaremos esa transformación integral, sino que vamos a

Figura 4A

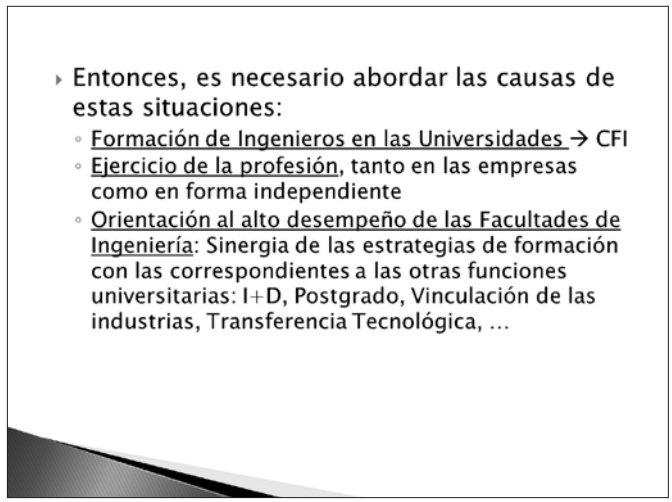


Figura 5A

hablar de Formación de Ingenieros, pero teniendo en perspectiva que forma parte de una triada transformacional que incluye, además, esa renovación institucional y el ejercicio de la profesión.

Entonces la Comisión fue conformada por personas que son académicos algunos, otros han sido directivos universitarios (aquí está presente Juan Music que fue Rector), y también personas que ejercen la profesión de ingeniero. Con eso creemos que tuvimos una variedad de personas y experiencias para obtener planteamientos valiosos e interesantes (Figura 6A).

Nuestro enfoque fue una visión de 360°, abordando el fondo de los temas y escuchando a todos los actores (Figura 7A).

Figura 6A

Figura 7A

Y también siendo sensibles a los distintos temas, no nos quedamos solamente con la formación de ingenieros como una labor de universidad y menos como sólo unos desafíos de aula, o de maestro – discípulo, sino que tratamos de abrir las distintas funciones universitarias en las interacciones con los actores.

El esquema de la Figura 7A trata de representar eso. Por ejemplo, cómo la docencia de pregrado se articula con la docencia de posgrado, la educación continua, la investigación y desarrollo.

En el cuadro de la derecha de ese esquema, se trata de mostrar un conjunto de funciones externas de las universidades al interactuar con sus pares; de lo que ocurre en la industria, cómo se diseñan las obras de ingeniería, cómo se construyen, cómo se implementan, cómo se mantienen, cómo se operan, cómo se renuevan. Todo eso está pensado con el enfoque 360° señalado.

Después vimos la necesidad de escuchar a las universidades y a los organismos públicos pertinentes (Figura 8A).

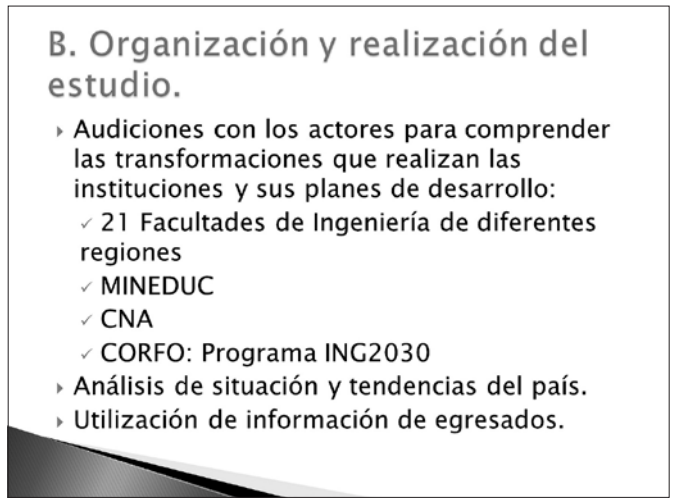


Figura 8A

Lo hicimos invitando a 21 decanos y decanas, aunque todavía hay pocas decanas, de distintas partes del país. Ellos vinieron al Instituto y expusieron, y sus documentos de planes de desarrollo estarán disponibles en la web del Instituto, acompañando a este libro que estamos presentando.

También escuchamos a los representantes del Ministerio de Educación. Tanto el Departamento de Financiamiento Institucional, como las personas que trabajaban en aquel entonces en los marcos de cualificaciones. Escuchamos a la Comisión Nacional de Acreditación, escuchamos a los representantes de CORFO y su importante Programa Ingeniería 2030, y también a otros actores públicos. Hicimos un análisis de las tendencias nacionales e internacionales, utilizamos información de los egresados de universidades chilenas. ¿Qué están pensando los egresados de las universidades chilenas? Hicimos encuestas específicas a egresados de la Universidad de Chile y de la Universidad Santa María, en una dinámica interactiva.

Y nos dejamos sensibilizar o inspirar, mejor dicho, por lo que está pasando en los mismos tipos de discusiones que tienen otros países (Figura 9A).

Figura 9A

Por ejemplo, en Estados Unidos cómo renuevan algunas universidades la formación de ingenieros de cara a los grandes desafíos de la ingeniería. En particular de aquellos desafíos señalados en la publicación de la *National Academy of Engineering*.

Y tenemos la tensión de cambio que está ejerciendo hoy día el Reino Unido, que es reciente. Cómo la ingeniería gestionada de otra manera y enseñada consecuentemente aumenta importantemente la contribución al valor económico en el desarrollo del Reino Unido.

El plan China 2030 en el cual la ingeniería y la tecnología tienen unos roles protagónicos; como este plan ya tiene unos 7 años de ejecución, ese país ha podido demostrar en qué han ido mejorando.

Después tenemos el cambio en la estructura del trabajo en la sociedad, en la cual la ingeniería tiene dos roles importantes. Uno como provocador de los cambios y otro como sujeto en el cual se verifica el cambio. Un ingeniero estructural antes requería hacer ciertas tareas, hoy día trabaja con plataformas digitales de una manera distinta. Entonces están las dos dinámicas que podemos analizar.

Pero el trabajo que constituye un hito crítico para quienes educan en ingeniería o ejercen la profesión, es el llamado de atención que hizo la UNESCO con su Informe del año 2011, realizado en conjunto con las Asociaciones Internacionales de Ingeniería. Allí se dice aproximadamente lo siguiente: "los ingenieros parecen estar cómodos en todo el mundo, pero los Desafíos del Milenio declarados por ONU no están suficientemente abordados, y la Ingeniería tiene un rol protagónico en su solución; y si no hacen su contribución, no se resuelve." Entonces, en nuestra Comisión también nos inspiramos en este planteamiento de la UNESCO.

Además de todo esto, consideramos los informes del Instituto de Ingenieros sobre varios temas, desde energía y medio ambiente hasta obras de infraestructura, y del Colegio de Ingenieros sobre el Proyecto País, entre otros (Figura 10A).

Figura 10A

En la Comisión adoptamos una actitud positiva, creemos que es posible mejorar, lo que ya hace la ingeniería chilena es bueno, pero lo que se espera y necesitamos es mucho más.

Eso es entonces el ¿por qué? del trabajo de la Comisión y cómo nos organizamos.

Ustedes van a encontrar en el libro que están tratados todos los temas que se mencionan en la Figura 11A, en forma específica.

Por ejemplo, el análisis de la experiencia internacional, las tendencias en la industria. Elaboramos una visión, analizamos los proyectos que se han hecho en Chile de renovación y el estado en que están y cómo a partir de eso construimos nuevas iniciativas necesarias. En fin, todos esos tipos de análisis, están presentados en cada uno de los Capítulos del libro. A partir de ellos, derivamos conclusiones y generamos propuestas según se organizan en la Figura 12A.

Por consiguiente, podemos obtener conclusiones especificas en varias dinámicas. Desde la perspectiva internacional, desde la perspectiva de la academia chilena, de lo estudiantes y egresados, de los organismos públicos, de la perspectiva de la

Figura 11A

Figura 12A

industria local, y otras. Por este enfoque 360° que considera a todos los actores, pudimos hacer contribuciones más allá de lo que están haciendo las instituciones.

Muchas de las universidades chilenas están haciendo renovaciones importantes. Ya veremos algunas, pero lo valioso es que esas dinámicas de cambio se puedan potenciar con otras intervenciones que se abordan en el libro, algunas de las cuales narraremos.

Ahora paso de inmediato a las propuestas y a las recomendaciones. Ustedes en cada Capítulo van a encontrar una serie de propuestas y recomendaciones con sus antecedentes sus correspondientes referencias y respaldos.

Cuando hacemos nuestras propuestas estamos siempre considerando el conjunto de todos los actores. Es decir, tenemos presente que la renovación en una Facultad de Ingeniería, en el ámbito de formación de ingenieros incluye por supuesto a los académicos, a los estudiantes, a los directivos universitarios; pero también a los que hacen políticas públicas, a las industrias de distinto tipo, desde industrias primarias a empresas de alto valor agregado como la propia ingeniería, a los organismos ministeriales, a los organismos que agrupan a los profesionales de la ingeniería, el mismo Instituto, el Colegio de Ingenieros de Chile, la Academia de Ingeniería de Chile, a CONDEFI, a la SOCHEDI. En fin, hemos dicho que todos los actores tienen algún rol específico que es valioso (Figura 13A).

Figura 13A

Por ejemplo, a los ministerios que contratan servicios y obras de ingeniería, tales como Obras Públicas y Telecomunicaciones y una decena más. Son muchos los actores que pueden colaborar y ayudar en esta transformación. El trabajo de la Comisión está abordado desde esa perspectiva.

Así pudimos apreciar que hay acciones en curso valiosas siendo la más importante, el Programa Ingeniería 2030 de CORFO, con sus 6 ejes estratégicos y las metas que se esperan. Los avances logrados hasta la fecha ya tienen una cierta notoriedad internacional. En un trabajo publicado el 2017 realizado por la Dra. Ruth Graham con el apoyo del MIT, de la Universidad Católica y de otras instituciones se pudo ver en perspectiva lo que están haciendo varias universidades chilenas, y las pone en valor respecto a lo que está ocurriendo en el mundo.

En una familia de nuevas propuestas hechas por el mismo Instituto, se destaca una sobre la Habilitación Profesional que lideró Silvana Cominetti (Figura 14A).

Figura 14A

Tenemos actores que están movilizándose en torno a estos desafíos, se están haciendo proyectos relevantes en las universidades, realizaciones de algunas políticas públicas, las iniciativas del propio Instituto y del Colegio de Ingenieros y otros actores. No obstante, nuestra visión es que a pesar de los avances hasta la fecha, para abordar los desafíos que tiene el país tenemos que trabajar de una manera bastante más articulada e intensa entre los actores. Nuestra recomendación sintética es la potenciación de las instituciones y el aumento de sus resultados.

A continuación se presenta la lista de temas de las propuestas de la Comisión (Figura 15A).

Algunas de estas propuestas son conocidas por los actores, otras son nuevas. Varias que son conocidas, las revisamos y concluimos que siguen siendo válidas y las reafirmamos. Pero otras conocidas no las recomendamos pues consideramos que perdieron vigencia. Pero, y muy importante, hacemos varias propuestas que son nuevas.

Por ejemplo, hacemos propuestas sobre el alineamiento internacional de las carreras de Ingeniería. En particular, para asegurar la movilidad internacional de estudiantes y académicos desde y hacia las universidades.

Hacemos propuestas sobre la armonización nacional en la formación de ingenieros, el currículo, la posibilidad de que los estudiantes puedan hacer su evolución entre distintas universidades como ocurre, por ejemplo, en la Unión Europea con el Sistema de Créditos Transferibles (Figura 16A).

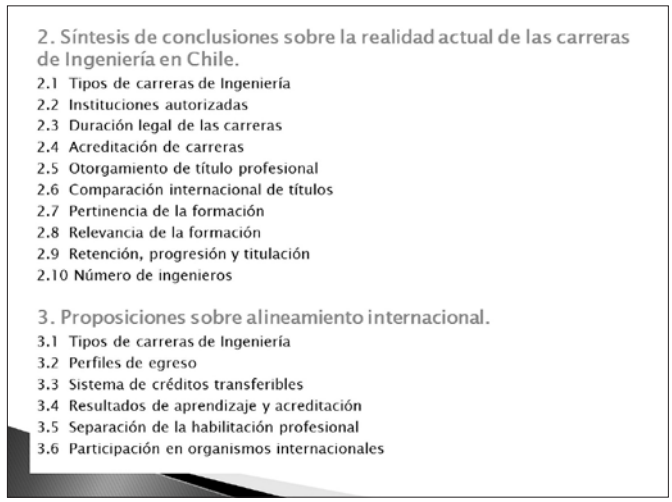


Figura 15A

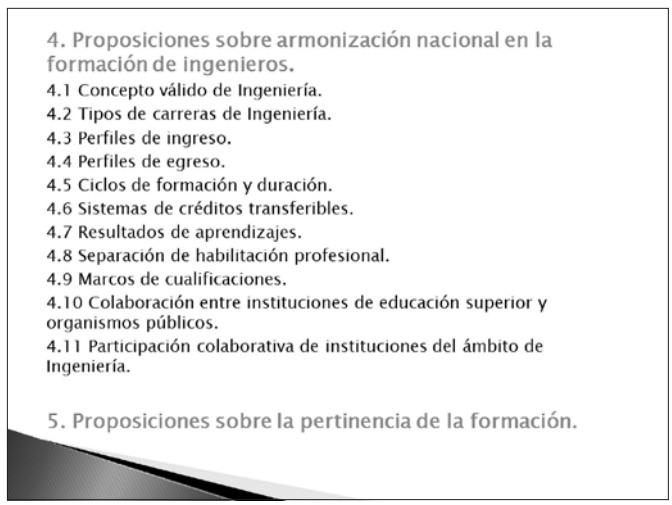


Figura 16A

Una situación particular se produce en las universidades cuando son juez y parte en los procesos formativos, ya que al mismo tiempo que imparten los conocimientos, otorgan los títulos y tutelan el trabajo de orientación profesional. Por eso nos pronunciamos: hay que hacer cambios en esto. Algunos son cambios internos en las universidades, otros son cambios legales a nivel país.

En los marcos de cualificaciones aptos para nuestra profesión, observamos como referente el Acuerdo de Washington. Pero

también con elementos propios de los acuerdos de la APEC, del Asia Pacífico.

Tenemos proposiciones sobre la pertinencia de la formación, porque aun cuando en el trabajo con la industria detectamos que los ingenieros civiles tienen una alta aceptación, hay brechas no resueltas. En particular, para renovar esas industrias y desarrollar nuevas industrias son necesarias competencias adicionales.

Asimismo, hacemos proposiciones sobre el diseño e implementación de las carreras de ingeniería (Figura 17A).

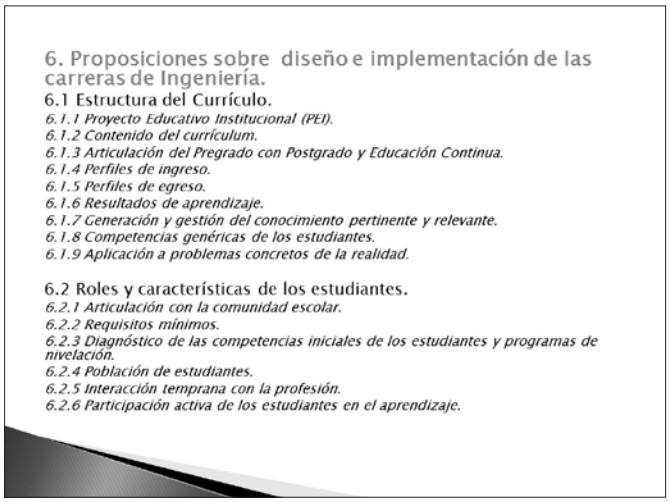


Figura 17A

Por otra parte, se nos ha comentado una visión que también viene de la experiencia internacional, respecto de que la Ingeniería como expresión académica no está todavía al nivel en que está la Medicina en las universidades. Que siendo Ingeniería una carrera muy importante no tiene la misma relevancia en la toma de decisiones institucionales. Varios de los contenidos que tienen las carreras de Ingeniería no son propios de la ingeniería, son consecuencia de un armado universitario en la cual se ha tenido que poner en práctica lo que podríamos llamar un **código común colectivo**. Muchas universidades de países desarrollados y países emergentes tienen clara noción de esto y lo que buscan es que se empoderen más los directivos y los académicos de los ámbitos de Ingeniería.

Lo anterior tiene impacto en el diseño. No da lo mismo diseñar desde la obediencia de una norma, a hacerlo desde la creación de una nueva norma. Uno de los impactos más interesantes es la articulación entre Pregrado y Postgrado, y de ambos con la Educación Continua. Es necesario asegurar las trayectorias formativas.

Un tema importante en la implementación son los roles de los estudiantes y sus participaciones desde sujetos de aprendizaje a actores co-constructores de su propia experiencia de ingenieros.

También hacemos planteamientos para renovar los cuerpos docentes (Figura 18A).

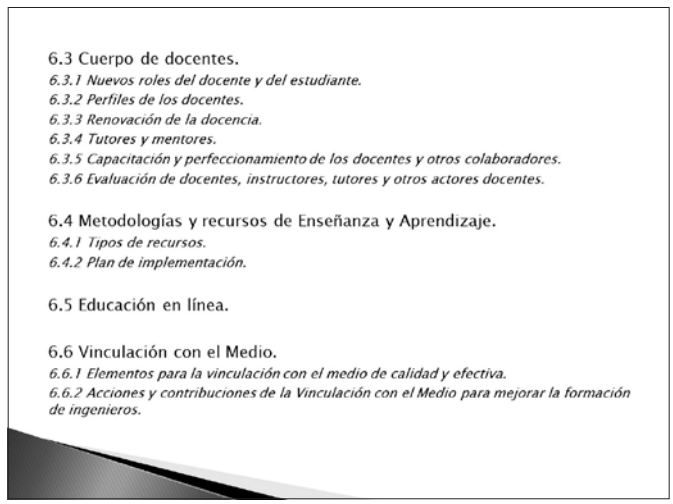


Figura 18A

Por supuesto, el perfeccionamiento del cuerpo docente es muy importante, pero no basta. En algunos casos hay que atraer más talento académico. Especialmente que tenga la capacidad simultánea de investigar, hacer muy buena docencia y relacionarse con la industria. Esto no es fácil, pero este es el desafío.

Sobre metodologías de enseñanza-aprendizaje, nuevas y antiguas vigentes, señalamos aproximadamente unas 20 en el Informe. En la educación en línea señalamos por qué nos cuesta avanzar en el país y qué hacer al respecto. En vinculación con el medio, cómo articularla mejor con la docencia.

La necesidad de aumentar articulación de la formación con la investigación y desarrollo, porque observamos que hay un retraso importante, y no existe una transferencia oportuna de los conocimientos nuevos que se generan, a la propia docencia en los primeros años de las universidades (Figura 19A).

Hemos dedicado una parte de este Capítulo para factores de contexto y la importancia del liderazgo de Ingeniería. Creemos que es fundamental un fortalecimiento del liderazgo a nivel

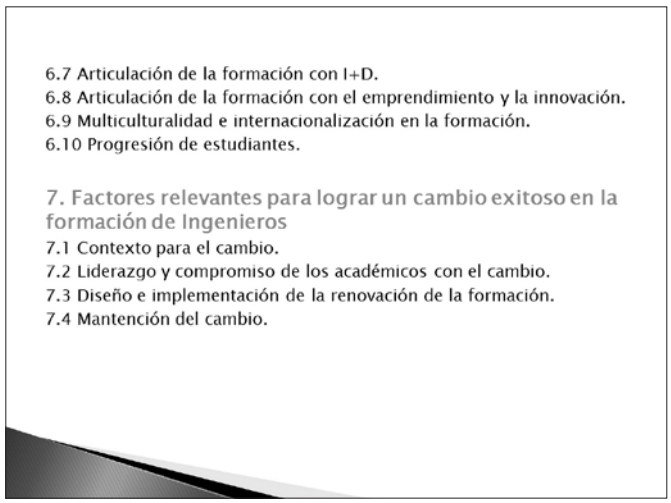


Figura 19A

de Decanos y Directores en los ámbitos de Ingeniería de una universidad.

Luego señalamos que no basta con hacer una lista de propuestas. Son necesarias unas estrategias efectivas para materializarlas. Entonces la pregunta que nos hicimos fue: dado que Chile va avanzando, tenemos una visibilidad internacional y nos vienen a visitar desde distintas partes: ¿Qué es lo que nos falta para progresar más rápido? (Figura 20A).

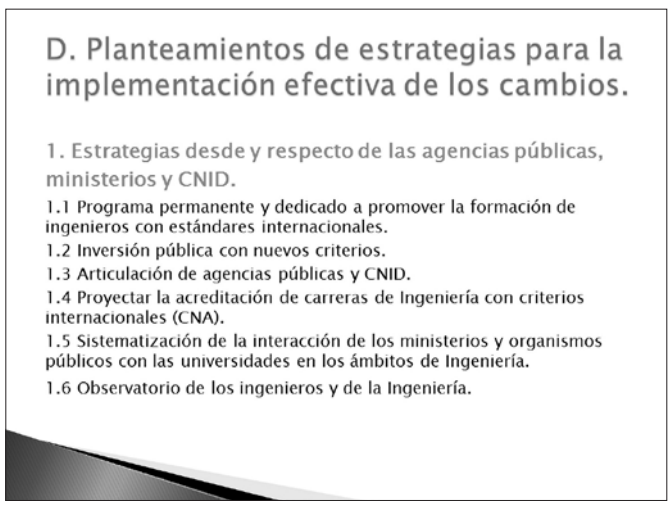


Figura 20A

Una de las respuestas que obtuvimos es que nos falta una articulación más efectiva y armónica entre los distintos actores. De aquí surge el principal concepto estratégico: ¿cómo vamos articulando diferentes actores para que le ayuden a la academia a hacer su renovación? Que no sea solo un acto solitario de la academia, sino que sea un acto colaborativo entre actores diversos que se necesitan.

Un Ministerio de Obras Públicas necesita una Universidad renovada, y una Universidad renovada necesita espacio de transformación en tal Ministerio. Como es el caso de la reforma que hizo el Reino Unido en los últimos 15 años y que ha avanzado bien.

Imaginémonos lo siguiente: cuando se hace una nueva obra pública, parte del presupuesto agregado se destina a formar personas con ciertas características y otra parte a investigación, desarrollo e innovación. Entonces, una inversión es pertinente y relevante desde el diseño. Pero, esto requiere otro tipo de conversación. Cuando hablamos de estrategias estamos pensando en ese tipo de relaciones.

Planteamos estrategias respecto de las agencias públicas. Primero, planteamos que debe haber Programas permanentes por lo menos hasta el 2030 de apoyo al fortalecimiento de las ingenierías.

Segundo, nos referimos a la necesaria articulación entre los actores públicos. Por ejemplo, para proyectar la acreditación de carreras con criterios internacionales, tanto en Chile como en los países desarrollados. Eso puede significar una evolución de nuestro sistema de acreditación y también participar más con agencias internacionales. Hay distintos formatos, pero creemos que tenemos que participar en la ingeniería mundial en condiciones de mayor igualdad con los líderes.

Tercero, sobre un observatorio de los ingenieros y de la ingeniería, como lo que tiene Australia, varios de Estados Unidos y de Europa. Por ejemplo, hoy no disponemos de información confiable y oportuna sobre los desempeños en un determinado campo de la Ingeniería como la Electrónica. Hay muchas necesidades de información no resueltas.

Luego, planteamos estrategias para las autoridades universitarias (Figura 21A).

El ejercicio del liderazgo requiere de una estrategia de fortalecimiento de las capacidades para ello.

En particular, para usar la renovación en Ingeniería en los campos de innovación y educación como un medio de avanzada para la renovación de las Universidades. Puede ser el ámbito donde la Universidad prueba métodos, porque la Ingeniería es supuestamente más fácil para hacer cambios debido a los desafíos que plantea el acelerado progreso científico – tecnológico

Figura 21A

y su gestión basada en la evidencia. Esto está teniendo aprecio en países del Sudeste Asia.

Ahora no abordaremos cada una de las estrategias, salvo señalar que plantemos para cada uno de los actores, diferenciando sus roles. Por ejemplo, las autoridades universitarias respecto de los cuerpos académicos.

Asimismo, estrategias específicas para los estudiantes de pre y post grado, como actores que deben participar en esta transformación (Figura 22A).

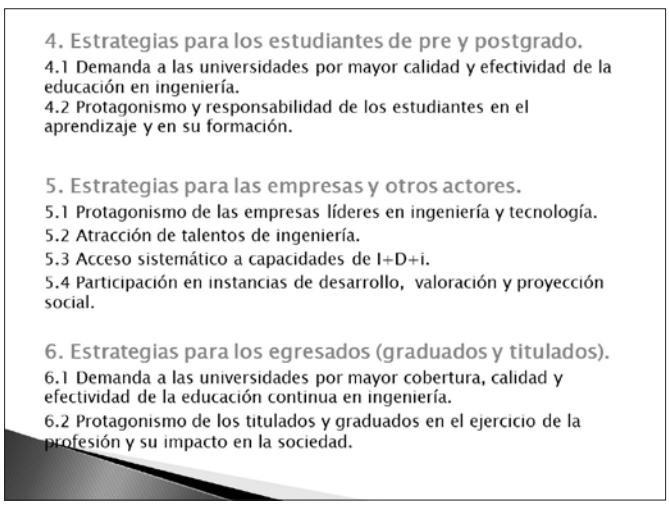


Figura 22A

Una dimensión relevante son las estrategias para las empresas y otros actores. En la experiencia de las reformas de rápido desarrollo, como la de los países del Sudeste de Asia, Corea en particular, la participación de la empresa es determinante. Es el caso de la metáfora, primero africana, ahora universal, en que **"juntos llegamos más lejos"**. Un sólo actor puede ir rápido en algo, pero se agota y su alcance es limitado. La clave es colaborar articulándose. Entonces, creemos que el trabajo de la Universidad con la empresa está muy lejos de llegar al grado de profundidad que necesitamos en países como Chile, la República Argentina, Colombia, nuestros países de la región. ¿Porque, en qué usamos actualmente la relación universidad - empresa? Como referente para definir el perfil de egreso, como espacio de práctica de los estudiantes, para algún proyecto de investigación y desarrollo y otras actividades caso a caso. Pero no para una compresión profunda del desarrollo de las nuevas industrias o para la renovación de las existentes. Y esa comprensión profunda, que debe superar los lugares comunes, ocurre sólo con un diálogo intenso, sincero, con mucha confianza.

También planteamos estrategias para los egresados. Los egresados hoy día no se expresan con suficiente fuerza hacia las Universidades que los formaron, ni éstas son suficientemente diligentes en esta relación. Las Universidades de los países desarrollados le dan importancia a esta labor. Por ejemplo, la Universidad de Illinois conoce adecuadamente las demandas de educación continua de sus egresados. Sabemos que la Universidad no se agota con un grado académico, ni con un título. Todo lo contrario, hoy día comienza una labor importante durante todo el ciclo de vida de las personas.

En síntesis, yo los invito a lo siguiente, que es lo que queremos hacer desde el instituto: "Un dialogo permanente, constructivo y una participación decidida de los actores para crear más valor en torno a la Ingeniería potenciada del país" (Figura 23A). Para el bien de Chile y cada una de las personas.

Figura 23A

Este no es un libro que dice "esto es así", como una suerte de piedra cincelada para la eternidad, es una propuesta de conversación. Vamos a iniciar conversaciones dentro de los meses próximos con el mundo de las universidades, el mundo de la industria, los actores públicos y otros en la lógica de una conversación permanente, con el fin de lograr que la Ingeniería cree el valor que Chile necesita para ser un país efectivamente desarrollado para toda su gente.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Exposición de Juan Carlos Espinoza R.

—Agradezco sinceramente al Instituto de Ingenieros la invitación. En realidad, esta presentación podría ser sumamente rápida y no durar más de tres segundos, puesto que de lo que ha planteado Jorge Yutronic, simplemente quedaría decir que estamos totalmente de acuerdo en lo que plantea el texto del libro del Instituto de Ingenieros.

Ello, porque en realidad los aspectos que mostró, son los deseos que todas las Facultades de Ingeniería, creo, queremos llevar adelante.

Estimo que eso es en parte el valor que tiene el libro. En poner en valor, sistematizar también muchos de los temas que hoy día estamos conversando al interior de nuestras facultades y que nos dan justamente varios argumentos, también de peso, para poder plantearlos a nuestras autoridades superiores. En ese sentido creo que el libro en lo que respecta a nuestra ingeniería marca un hito importante, felicitaciones.

Entonces, lo que voy a mostrar es cómo vemos las Facultades de Ingeniería el tema de la Formación de Ingenieros Civiles en Chile (Figura 1B).

En términos de lo que es la presentación voy a dar un pequeño contexto asociado básicamente a lo que diríamos es un punto de partida, que es la globalización. Posteriormente tenemos la mirada externa, que es el contexto ibero y latinoamericano. La mirada desde CONDEFI, que es nuestra Asociación de Facultades de Ingeniería. En qué estamos las Facultades de Ingeniería en estos momentos también. Un pequeño diagnóstico. Y algunas conclusiones y recomendaciones respecto al tema de la formación de ingenieros y desafíos que tenemos por delante.

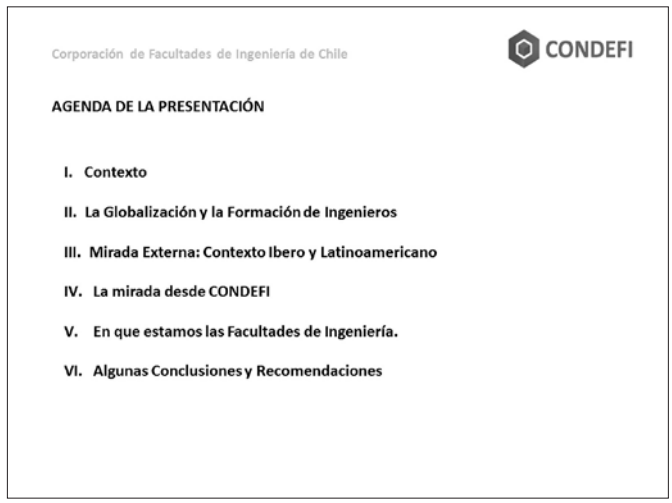


Figura 1B

Como contexto, una pequeña definición de lo que es la globalización, pero todos la sabemos, todos la vivimos (Figura 2B).

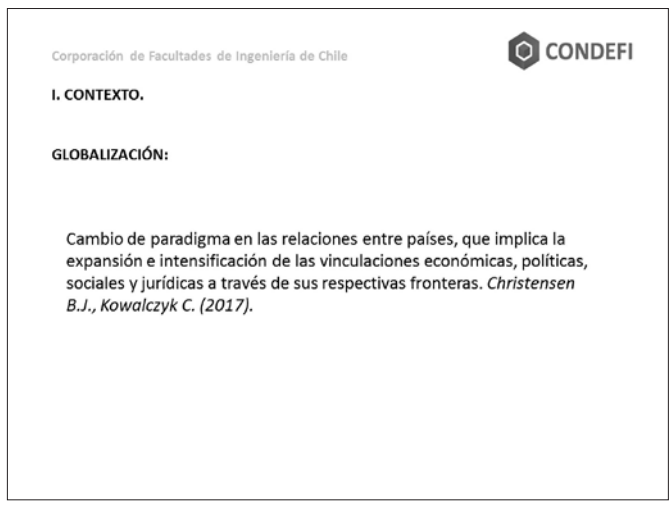


Figura 2B

La hemos estado viviendo a diario. Muchas de las cosas que suceden por ejemplo en términos de comunicaciones, de dilución de las fronteras, son temas que vienen justamente a consecuencia de la globalización. Los estándares, también son temas que se derivan, prácticamente toda nuestra vida diaria está asociada en torno a la globalización. Y esto nos ha llevado también, a que de alguna manera sintamos de qué algunos aspectos incidan directamente en lo que es la formación de ingenieros (Figura 3B).

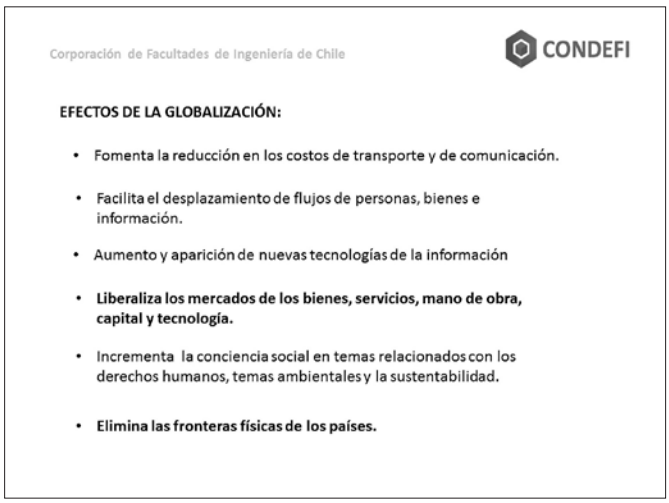


Figura 3B

Figura 4B

He subrayado o enmarcado en negrita un tema, la liberación de los mercados, los bienes y servicios mano de obra, capital y tecnología. Lo que planteaba Jorge Yutronic, por ejemplo, sobre la Unión Económica Europea, respecto del libre tránsito que tienen los estudiantes. Estudiar en una universidad y poder tomar cursos en otras universidades de distintos países.

También elimina las fronteras físicas entre los países. El tema de la comunicación también, que fomenta la reducción de los costos de transporte y comunicación. En estos momentos, cualquiera de ustedes, por ejemplo, podría hacer una llamada a Alemania vía WhatsApp y el costo es 0, o muy cercano a 0.

Esto entonces, nos ha llevado a que desde el punto de vista de la formación de ingenieros, tengamos también una definición de lo que podemos entender por ingeniero global o por ingeniero de clase mundial, o ingeniero de estándares mundiales (Figura 4B).

Dice ahí que un ingeniero no solo comprende el contexto global en el cual está inserto, puesto que cambió su entorno, sino que también da cuenta de la importancia que tiene la ingeniería en aspectos, de desarrollo social y económico de un país. Lo cual no es menor, tal como se ha planteado en el libro en términos de la importancia que tiene la formación de ingenieros o lo que significa ser ingeniero en nuestra sociedad.

Ahora este contexto de lo que es ser ingeniero global implica también definir nuevos atributos para nuestros profesionales (Figura 5B).

Ya no basta tan solo –lo planteaba muchas veces, Eduardo Bitrán de CORFO en las reuniones que teníamos– con ser un

Figura 5B

ingeniero con una muy buena formación científico-tecnológica, sino que también ahora se les exigen a nuestros profesionales otros atributos. Muchos las llaman **habilidades blandas**, como la creatividad para inventar e innovar. Las habilidades comunicacionales. Y lo que nos toca hacer clases a diario, a veces nos encontramos con serios problemas en la forma en que nuestros estudiantes se expresan. No tan solo en términos de lenguaje hablado, sino que también en términos de lenguaje escrito. Y aparte de esto les estamos pidiendo, más bien exigiendo, que tienen que hablar un segundo idioma para poder comunicarse con otras sociedades.

Liderazgo, habilidad para trabajo en equipos. Aquí también tenemos grandes desafíos. Puesto que las tecnologías lo que han hecho ahora es que, si bien es cierto trabajan en equipo,

ya no lo hacen como lo hacíamos nosotros, sino que los estudiantes ahora lo que hacen es definir la hora, pero no definen el lugar, porque trabajan desde sus casas. Yo he visto trabajar estudiantes en grupo comunicados a través de Facebook, por ejemplo. Y ese es trabajo en grupo, igual estamos trabajando en esto.

Ser resiliente, y ese es un tema que en el libro se plantea con mucha frecuencia. La resiliencia que debemos tener como profesionales.

Conciencia de los problemas ambientales, energéticos y crecimiento demográfico.

Hoy hay muchos problemas en los proyectos de ingeniería y estoy seguro que en los trabajos que ha realizado en Instituto de Ingenieros en los textos que ha mencionado Jorge Yutronic, se habrán encontrado con los conflictos de carácter, social y ambiental, que impiden muchas veces que los proyectos de ingeniería se desarrollen de la manera como se pensó en el proyecto inicial.

Y otro tema, la Multiculturalidad. Se pide que nuestros profesionales también, de acuerdo con este proceso de globalización que sean multiculturales, que conozcan otras culturas, que sepan por ejemplo que, si van a trabajar al África, entiendan la idiosincrasia de la gente donde ellos estarán trabajando. Porque es la única forma de ponerse en contacto directo y poder comprender muchas veces situaciones que pueden llevar un proyecto a una situación de stress.

Ahora, que es lo que sucede a nivel latino e iberoamericano (Figura 6B).

Y esto básicamente por el tema de las reuniones que permanentemente tenemos como CONDEFI con otras asociaciones. Por ejemplo, ASIBEI que es la Asociación Iberoamericana de Enseñanza en la Ingeniería, el GEDC el *Global Engineering Dean's Council* y IGIP Asociación Internacional de Pedagogía en enseñanza de la Ingeniería y otras más. Y ha sido de permanente la discusión de varios de los temas que tenemos ahí planteados y que dicen relación directa con la Formación de ingenieros. Por ejemplo, los desafíos que tienen las facultades de ingeniería en el desarrollo de nuestros países, abordado en una reunión de GEDC en Buenos Aires el año pasado.

La movilidad estudiantil y académica entre las distintas facultades de ingeniería y cómo podemos mejorar en esta materia y el tema de innovación y desarrollo tecnológico.

La formación de profesores. Ese es otro tema importante que tenemos. Si estamos pidiendo a nuestros estudiantes que sean innovadores y que tengan la capacidad de emprender, cómo entonces también los que forman estos profesionales adquieres estas capacidades también.

Y el trabajo colaborativo en temas y problemáticas comunes a Iberoamérica en ingeniería. Y ahí está marcado INGEDEN. Que significa Ingeniería en la Gestión de desastres Naturales, que es la actividad que tenemos mañana en Iquique como ASIBEI y como CONDEFI, en el cual participan invitados de todas las facultades de ingeniería. Y es una materia que plantea el libro, también como un eje relevante en la formación de ingenieros en Chile.

Ahora, la mirada desde CONDEFI en el plano más interno (Figura 7B).

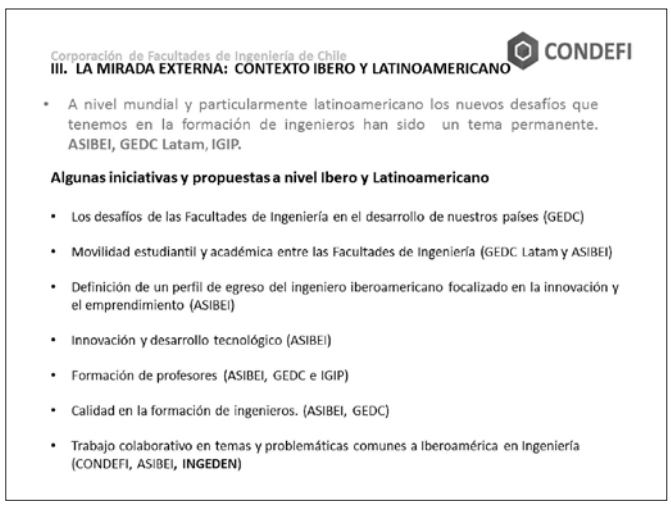


Figura 6B

Figura 7B

Nosotros el año pasado en agosto, tuvimos nuestra reunión extraordinaria, cuyo lema fue "Los desafíos de la ingeniería nacional en el desarrollo de Chile". Y dentro de esta gran temática abordamos el tema de los desafíos que tenemos en Chile en la formación de ingenieros (Figura 8B).

Figura 8B

Esto con el fin de que las conclusiones que salieran de esa reunión, fuesen una especie de carta de navegación para las distintas Facultades de Ingeniería y obviamente también, en función de estos mismos desafíos, poder tener también un trabajo colaborativo entre las distintas facultades (Figuras 9B a 11B).

Ahora algunos de los aspectos que encontramos en término de formación, se hicieron en total de 32 desafíos. Uno de ellos que nos llamó mucho la atención que recién tocaba Jorge Yutronic también, es formar un ingeniero más culto con una mirada integral de los problemas que deberá resolver.

Él hablaba recién del tema del peso específico de nuestra profesión con respecto a lo que es medicina y los abogados también. Nosotros también nos planteamos esa misma pregunta. Por qué hay tan pocos ingenieros, ocupando cargos de senadores o diputados, vale decir, cargos que impliquen la dirección del país. ¿Qué es lo que falta?

Mejorar la comunicación oral y escrita, la inserción temprana en el currículum de los alumnos de problemáticas reales y vinculación con el sector productivo, ese es el gran desafío que tenemos las Facultades de Ingeniería en estos momentos; la capacitación de profesores, avanzar en fortalecer las relaciones con las empresas, crear y fortalecer las instancias de movilidad estudiantil y académica, etc. Si ustedes se dan

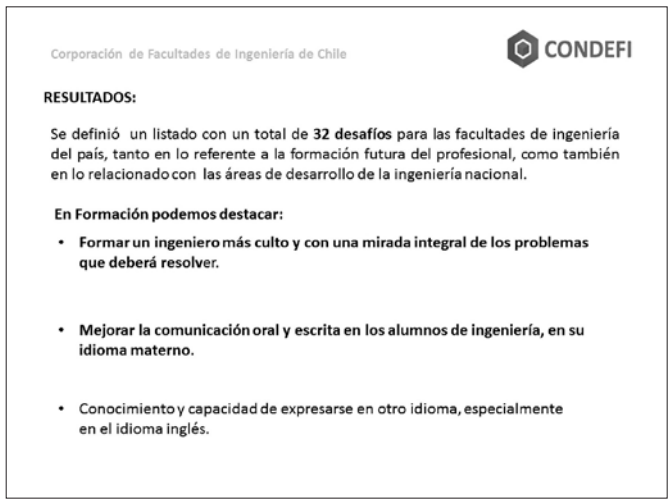


Figura 9B

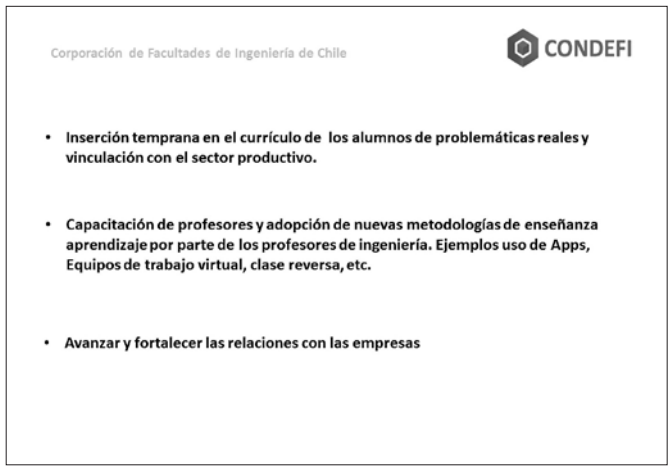


Figura 10B

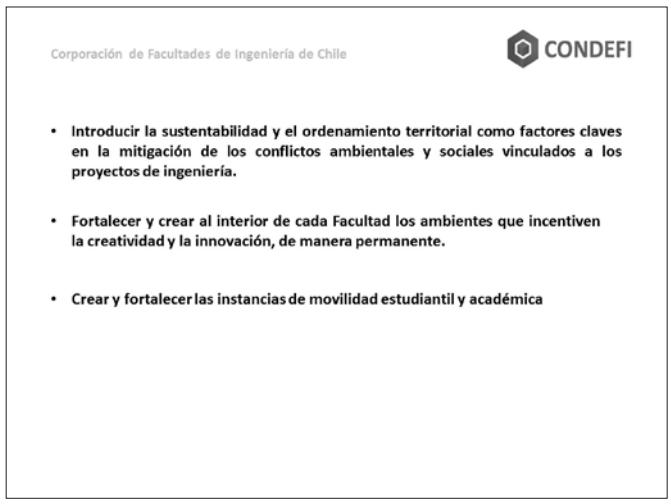


Figura 11B

cuenta, se van repitiendo muchos de los términos o ideas que no tan solo se dan en Europa, sino que también en América Latina y en Chile en particular.

Ahora, ¿en qué estamos las Facultades de Ingeniería? (Figura 12B).

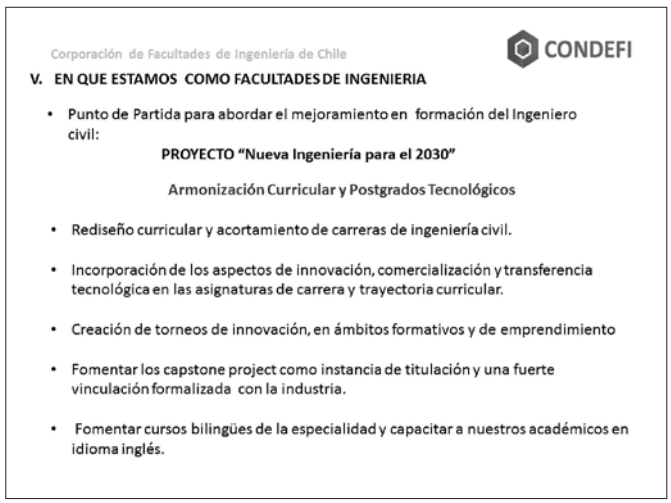


Figura 12B

Aquí quiero destacar un punto de partida sumamente importante, el **Proyecto Nueva Ingeniería 2030**, creo, mi opinión muy personal, pero compartida por varios otros Decanos, de que no estaríamos hablando de innovación, de fortalecimiento de las capacidades de investigación aplicada, de nueva trayectoria curricular y otros desafíos que tenemos en términos de formación, si no es por el **Proyecto Nueva Ingeniería 2030**. Creo que ha sido un impacto importante, un hito relevante en términos de lo que es el fortalecimiento en la formación de los ingenieros en Chile.

Y dentro de eso, en función de los ejes que tiene este proyecto, por ejemplo, en el eje de armonización curricular y post grados tecnológicos, y hablo de mi consorcio, Concepción y Católica de Valparaíso, estamos trabajando en lo que es el rediseño curricular y acortamiento de carreras de ingeniería civil. Estamos trabajando en ello, estamos comprometiendo fechas, plazos, acciones para acortar las carreras. Pero que no sea simplemente un tema de quitar asignaturas y estamos listos en cinco años y medio. No, tiene que ser un proceso integral.

La incorporación de los aspectos de innovación, comercialización y transferencia tecnológica en las asignaturas de ingeniería civil, creación de **Torneos de Innovación** ha sido realmente un gran desafío y ustedes si ustedes vieran el efecto y el ánimo que han generado estos **Torneos de Innovación** en los chicos que estudian ingeniería, realmente ha sido una cosa impresionante en términos de motivación.

Fomentar cursos bilingües de la especialidad y capacitar a nuestros académicos en el idioma inglés.

Otro tema es fomentar los Capstone Projects que plantea también el libro como actividad de graduación terminal de los estudiantes.

En investigación desarrollo, trasferencia tecnológica innovación y emprendimiento (Figura 13B).

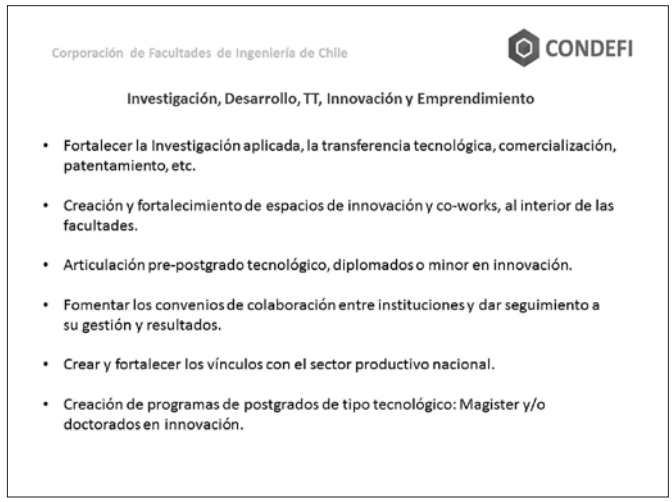


Figura 13B

Aquí también tenemos un conjunto de otras actividades que estamos desarrollando en la facultad de ingeniería.

En gestión y sustentabilidad un tema importante a mi juicio es el último punto (Figura 14B).

El aseguramiento de la sustentabilidad financiera de largo plazo de las distintas acciones que se desarrollan en el proyecto. No sacamos nada con trabajar 6 años en todo esto si después no vamos a tener los recursos para continuar con las distintas acciones que se están desarrollando en estos momentos.

En internacionalización y vinculación (Figura 15B).

Fortalecimiento del idioma inglés, pasantía de nuestros estudiantes, de nuestros profesores en distintas universidades a nivel mundial.

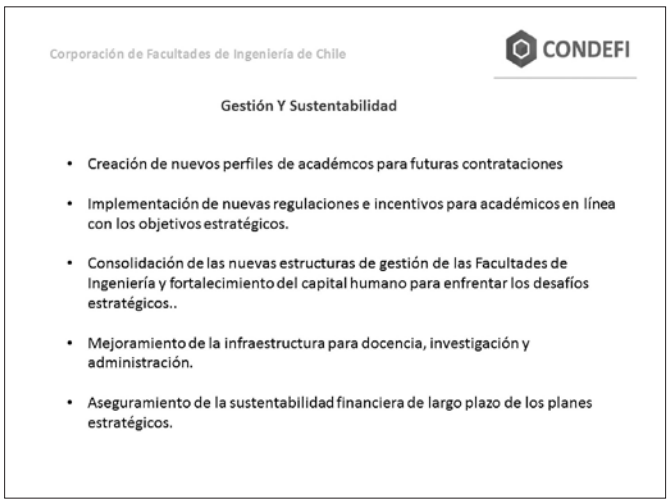


Figura 14B

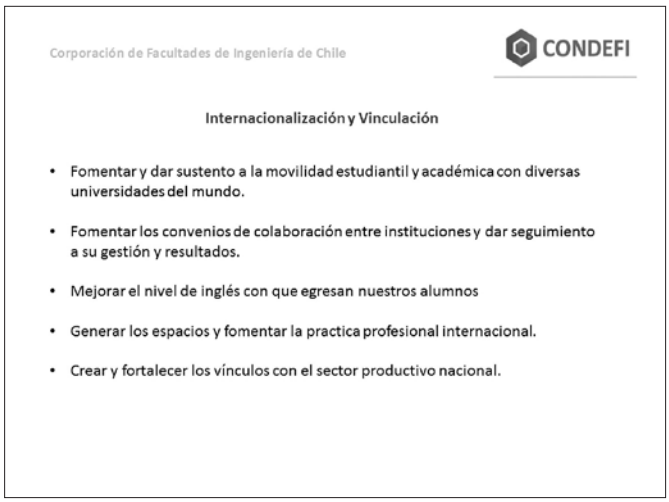


Figura 15B

Y para terminar tengo algunas conclusiones y recomendaciones (Figura 16B).

Primero, felicitar nuevamente al Instituto de Ingenieros por el Libro.

En segundo lugar, el **Proyecto Nueva Ingeniería 2030** ha sido un importante hito en la Formación de Ingenieros en Chile, sin duda alguna. Como CONDEFI apreciamos que la tarea de llevar a estándares internacionales la formación de ingenieros de Chile destaca a nivel latinoamericano. ¿A que me refiero?, al hecho de que, como decía recién, muchas de las actividades de innovación, emprendimiento, transformación en la formación de los ingenieros a nivel latinoamericano, por

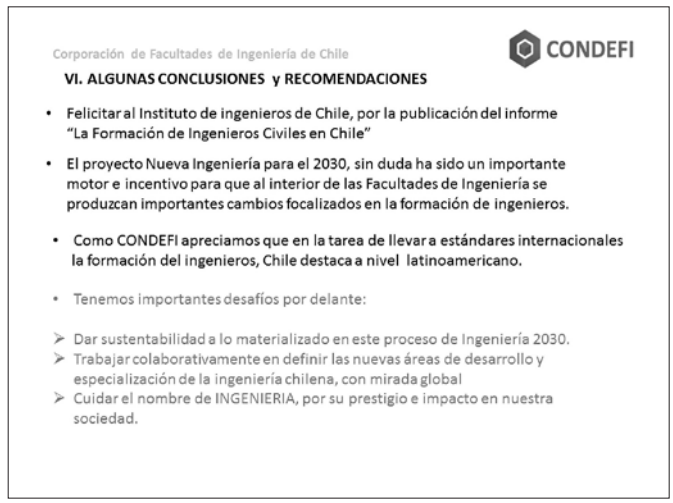


Figura 16B

lo general lo llevan adelante las universidades. Pero el caso de Chile destaca por lo siguiente. Porque en Chile ha sido una agencia gubernamental desde arriba hacia abajo, la que ha planteado el tema del cambio de la formación de ingenieros, lo cual da pie efectivamente, y si ustedes se recuerdan el Proyecto empezó el primer gobierno del presidente Piñera y continua ahora en el segundo gobierno, a tener una especie de política de Estado la importancia de la ingeniería.

Y por último algunos otros desafíos. Obviamente es dar sustentabilidad a lo materializado en el **Proyecto Nueva Ingeniería 2030**, creo que es importante que trabajemos colaborativamente en las nuevas áreas de desarrollo de la ingeniería. Generar una carrera en ingeniería civil son prácticamente dos años para el estudio estratégico del proyecto, un año más para la aprobación. En todos los procesos al interior de nuestras universidades, 5 años para que salga la primera cohorte, estamos hablando de 8 a 10 años más o menos. Entonces creo que es importante que pensemos, en el mediano y largo plazo, como generar nuevas áreas de desarrollo y de formación, nuevas carreras de ingeniería, eso es en el fondo.

Y finalmente cuidar el nombre de ingeniería, ya lo planteaba Jorge Yutronic y lo planteaba con mucha claridad el libro. La ingeniería en Chile es muy bien mirada. Esta es una carrera que tiene mucha aceptación y mucho prestigio a interior de nuestra sociedad, por lo tanto, hay que cuidar el nombre de Ingeniería.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Exposición de Marcela Ángulo G.

—Muy Buenas tardes, muchas gracias al Instituto de Ingenieros de Chile por esta invitación a comentar sobre el resultado del trabajo de la Comisión Formación de Ingenieros Civiles en Chile; felicitaciones a todos los miembros de la comisión que hicieron un análisis muy exhaustivo de todos los desafíos, las brechas y las oportunidades que abre para Chile un proceso de renovación de la educación en Ingeniería.

La verdad es que lo primero que quiero decir es que, leí el documento y estimo que efectivamente están bien reflejados todos los ámbitos de desafíos y oportunidades; me fue difícil concentrarme en algunos puntos, pero voy a tratar de ser sintética y elegí sólo 5 temas en donde quisiera reforzar algunas de las ideas que están planteadas en el documento y, sobre todo, trasmitirles a ustedes como colectivo una especie de sentido de urgencia.

He tenido el privilegio de estar en CORFO, liderando la gerencia que lleva el Programa de la Nueva Ingeniería para el 2030; me tocó, a dos semanas de haber llegado a CORFO, adjudicar el Programa y ponerlo en marcha, configurarlo, también traer al equipo que fuera capaz de hacer de contraparte y todo ello ha sido un proceso muy enriquecedor. Diría que es una iniciativa que, efectivamente como decían Jorge Yutronic y Juan Carlos Espinoza, es distinguida a nivel internacional. Estuve hace un mes en el Congreso Anual de la Sociedad Europea de Educación de Ingeniería invitada por Ruth Graham, quien es una experta mundial en educación en ingeniería, a un Panel que ella lideró y donde mostró 5 experiencias mundiales que valía la pena conocer. Luego de esta interacción tengo la certeza de que estamos en la dirección correcta, pero tengo también una angustia al ver cómo se está moviendo el mundo y ver el ritmo al que nos estamos moviendo nosotros. Entonces estamos bien, vamos por el buen camino, pero vamos demasiado lento; y con este ritmo, lo que nos va a pasar, es que este cambio tecnológico vertiginoso nos va a dejar siempre rezagados.

Además de generar el consenso sobre algunos temas donde hay que priorizar y avanzar rápido, hay algunas decisiones políticas también, donde yo creo que el Instituto tiene un rol que jugar y poner este tema en la conversación como un tema país, como un tema que afecta la productividad de nuestra economía, nuestra posibilidad de crecer, de transformarnos en un país desarrollado y, en definitiva, de que los ingenieros cumplan el rol que se espera en el desarrollo y el progreso de este país.

Entonces paso a los 5 grandes temas donde quisiera entrarme y entregar algunos elementos adicionales de contexto.

El primero, tiene que ver con la pertinencia de la formación, qué le estamos enseñando a los estudiantes de ingeniería. Cuando uno mira el ritmo vertiginoso de la tecnología, las revoluciones como la internet de las cosas, la inteligencia artificial, las industrias 4.0, las fábricas automatizadas, o la revolución del cambio climático que va a cambiar completamente la forma en que el mundo se abastece de energía, la electrificación de la sociedad y la electromovilidad, constata que son cambios radicales y esto está reconfigurando, yo diría que completamente, las posiciones de poder de los países. Esto no es un juego de quien hace más investigación y desarrollo o quien hace más innovación, esto está definiendo qué países van a ser ricos y prósperos en el futuro y que países se van a quedar rezagados del desarrollo y, por lo tanto, este sentido de urgencia tiene que llegar también a la educación de nuestros ingenieros.

Entonces, no puede ser que no tengamos las disciplinas de las tecnologías que son disruptivas siendo enseñadas los primeros años a nuestros futuros ingenieros. No puede ser que no estemos enseñando big data, data analytics, inteligencia artificial, energías renovables o electromovilidad a todos nuestros estudiantes de ingeniería.

De aquí surge otro tema relevante que es una brecha que también fue mencionada, pero me gustaría reforzar, que es el tema de la interdisciplina. Hoy día los grandes desafíos de la sociedad dejaron de ser mono-disciplinarios y son interdisciplinarios. Ingenieros de distintas disciplinas deben trabajar con diseñadores industriales, con médicos, con biólogos y con una serie de otras disciplinas. Y a los ingenieros, hay que decirlo, no nos enseñan a trabajar con otras disciplinas, no nos enseñan a valorar los aportes de otras disciplinas ni a incorporar otros saberes en el ejercicio de nuestra profesión y, por lo tanto, también tenemos ahí una brecha.

El segundo tema tiene que ver con cómo nuestras escuelas de ingeniería se vinculan con la industria, creo que ahí tenemos una deuda gigante. El Programa Ingeniería 2030 ha logrado que se constituyan consejos consultivos en las Facultades donde efectivamente se integra a exalumnos destacados que dan una mirada renovada de cuáles son las demandas de la industria, lo que es útil para poder estar en este proceso permanente de renovación y de cuestionamiento de lo que estamos haciendo como formadores de los futuros ingenieros.

Y en ese sentido tengo la impresión de que tenemos una deuda relevante en lo que se hace dentro de las facultades, ya no solo en el ámbito de la formación, sino que en la investigación y desarrollo, de modo que los tópicos sean mucho más concretos.

En Chile los ingenieros publican mucho más en revistas de ciencia que en revistas de ingeniería. Chile tiene un importante sesgo en esto, las cosas que se investigan son muy académicas, tienen poco uso productivo, tienen poca vinculación con una demanda o con un problema concreto; ahí yo diría, claramente hay un sentido de urgencia. Tenemos industrias que están con problemas de productividad enormes, que están enfrentando competencia de otros países, de otras industrias, modelos de negocio que se están acabando con la emergencia de las industrias 4.0 o con las manufacturas de avanzada. Poseemos una industria manufacturera que viene decreciendo su peso en la economía nacional pasando el límite del 10% y no hemos sido capaces de que efectivamente nuestros ingenieros mecánicos, eléctricos, electrónicos, sean artífices de un proceso de renovación completo de una industria, que de no mediar una renovación tecnológica masiva, está destinada a desaparecer, generando una enorme pérdida de empleos en muchas regiones de Chile.

El tercero también lo mencionaron, creo que las competencias en innovación y emprendimiento no se enseñan en ingeniería. Recién estamos logrando que se incluyan, por ejemplo, cursos donde se enseñe propiedad intelectual y transferencia tecnológica o gestión de innovación. Los ingenieros no sabíamos hacer esto, nunca nos enseñaron. Los desarrollos que generan nuevos productos o nuevas soluciones tienen que ser protegidos para que puedan ser efectivamente explotados en el mercado, capturado el valor por aquellos que hicieron el desarrollo e invirtieron en las fases iniciales. Y, por lo tanto, aquí hay una oportunidad de que los ingenieros tomen de verdad un protagonismo en las innovaciones que requieren industrias tan relevantes como la minería, como la agroindustria, la logística en transporte y tantas otras. Sólo por poner un ejemplo, siendo Chile un país exportador, donde más del 70% de su producto es de exportación, tenemos unos problemas de logística enormes, con los niveles más bajos de eficiencia comparado con países equivalentes al nuestro. Y eso es un problema de ingeniería, es un problema de logística de operaciones, de optimización, etcétera.

Otro componente tiene que ver con emprendimiento. Es probable que aquí varias generaciones nos quedamos atrás, porque los jóvenes que están entrando hoy día a los primeros años de ingeniería tienen la película clarísima y saben que ellos están llamados no sólo a buscar empleo en una gran empresa, en una gran corporación, sino también a generar empresas que creen valor y que generen mucho empleo de calidad, para que efectivamente el país tenga una oportunidad de diversificar su economía y no quedarse pegada siempre en industrias extractivas, industrias de recursos naturales, que si bien son muy relevantes, no van ser las que nos van a permitir dar el salto al desarrollo como país.

El cuarto tema es más político. Tiene que ver con el alineamiento de los criterios y los incentivos. Desafortunadamente tenemos un gran desalineamiento; por un lado, el Ministerio de Educación y la Comisión Nacional de Acreditación tienden a mantener los criterios antiguos y más tradicionales como son las publicaciones, y no se valoran ni las patentes, ni las innovaciones en la industria, ni los grandes aportes que pueden hacer los ingenieros en la sociedad, como lo hace CORFO.

Eso sencillamente no puede seguir ocurriendo, llevamos más de 10 años conversando de este desalineamiento y no hemos sido capaces de sentarnos a la mesa y tomar una decisión valiente y que efectivamente nos permita movernos. Urge dar una señal de alineamiento desde las distintas instituciones del estado y que cambiemos las cosas que hay que cambiar para movernos hacia un espacio de mejor desempeño.

Lo mismo pasa en los temas de los posgrados; Chile es uno de los países que tiene más baja cantidad de post grados en ingeniería. De todos los recursos públicos que se usan en Chile solo el 13% de los postgrados con becas nacionales van a Ingeniería. Si uno mira Corea, que es un país que realmente tomó una opción por la tecnología, el 70% de los recursos se van a ingeniería y tecnología.

En Chile casi el 50% de las Becas Chile se van a Ciencias Sociales y Humanidades, la gente sale a estudiar doctorado en esos ámbitos y cuando regresan tienen serios problemas de inserción porque no encuentran oportunidades de trabajo. Sin embargo, no tenemos una estrategia país para potenciar el uso de esos recursos para apoyar a más estudiantes de doctorado que se formen en las tecnologías más disruptivas para luego ir a trabajar no solo a la universidad y hacer investigación, sino también a la industria y, por qué no, al sector público.

Finalmente el quinto punto, con él quisiera terminar y que es probablemente mi mayor angustia, es el ritmo con que nos estamos moviendo en la armonización curricular y la duración de las carreras.

Ruth Graham en su último informe, contratado por MIT, que se llama Reimaginando y Repensando la Educación en Ingeniería, muestra que si bien Chile se está moviendo en la dirección correcta, va muy lento en el proceso de armonizar currículum y acortar las carreras. En Chile todavía hay universidades que imparten Ingeniería informática que dura 6 años, eso ocurre solo aquí. No necesita un Ingeniero informático tener un ciclo de ciencia físicas y químicas tan profundo para poder llegar a desempeñarse de forma exitosa. Y tengo que decir esto, me voy en un par de semanas de CORFO y esto es una de las deudas con las que dejo el Programa.

Creo que no hemos sido capaces de movernos a velocidad que nos exigen los cambios, seguimos teniendo un tiempo promedio de titulación superior a 8 años, lo que es inaceptable en los tiempos que corren.

Partimos teniendo esta conversación por ahí por el 2013, estamos a 2018 y todavía no logramos que se acorten las carreras. Hemos logrado algunos diseños, solo en algunas universidades, muy pocas, que han sido valientes y han logrado ponerse en línea con los estándares internacionales.

Creo que éste es un tema relevante, tenemos que ser capaces de generar una mejor articulación de pregrado y posgrado, así como un enfoque de formación continua para los ingenieros, que están permanentemente desafiados con el cambio tecnológico, con nuevos modelos con habilitación profesional y posgrados tecnológicos que nos permitan avanzar en los próximos dos o tres años hacia las mejores prácticas internacionales.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Exposición de Juan Enrique Morales J.

—Agradezco la invitación a participar en esta reunión y junto con agradecer, quiero felicitar explícitamente al Instituto tan buen trabajo hecho por la Comisión.

Tuve la oportunidad de leer el libro en los últimos días, y al no haber participado en su confección, se puede ver con mayor nitidez y sorprenderse, sacar conclusiones y aprender de las materias que trata. Con todos los respaldos que tiene el documento, no es fácil evidenciar conclusiones, pero el Informe lo hace y eso es un gran mérito.

Segundo, no puedo no dejar de mencionar, a propósito de la participación de Juan Carlos Espinoza y Marcela Angulo que, cuando uno ha visto iniciativas diversas en nuestro mundo civil ligado a ingeniería, es muy importante que exista CONDEFI y el Programa Ingeniería 2030; una agrupación de facultades de ingeniería que ya lleva varios años trabajando es muy valioso.

Dicho lo anterior, me voy a saltar algunas cosas iniciales y me focalizaré en tres o cuatro aspectos desde el lado de la industria.

Primero, copié textual algunas ideas del libro: "Falencias formativas en las capacidades para hacer del conocimiento científico y tecnológico un efectivo recurso de innovación con impacto económico." Yo creo que todos estamos de acuerdo en que son tremendamente potentes estas dos líneas.

Mas allá de estar de acuerdo, quiero llevarlos al aporte que puedo hacer desde mi punto de vista. El rol de los proyectos de inversión como dinamizadores de los procesos de aprendizaje tecnológico e incorporación de tecnologías disruptivas, es evidente, lo sabemos Está fundamentado en diversas investigaciones académicas que en las etapas tempranas de un proyecto es cuando deben instalarse nuevas soluciones tecnológicas. En el ciclo de un proyecto de capital, la fase de ingeniería conceptual debería hacerlo. Eso lo vemos en los manuales y recomendaciones desde especialistas en proyectos, pero en la generalidad de los casos esa incorporación de innovación no se hace.

También de ese párrafo mencionado anteriormente extraemos que la innovación tecnológica es una gran demanda para la empresa, para mejorar la productividad. Si eso no se hace en una etapa temprana de un proyecto, lo que se hace posteriormente es mejoramiento continuo o marginalmente innovación incremental.

Pero la innovación disruptiva se incorpora en la ingeniería conceptual. Y de ahí que es muy importante que nuestros egresados tengan la capacidad de ese conocimiento científico tecnológico, instalarlo en el proyecto. Y hago el punto porque éste sigue siendo un gran déficit. No vamos a tener desarrollo significativo en innovación si es que no se instalan tempranamente las innovaciones en los proyectos.

La siguiente frase. "El Egresado es capaz de solucionar problemas complicados, pero no problemas complejos, entendiendo que estos últimos se caracterizan por su carácter esencialmente multidisciplinario, interdisciplinario". Efectivamente, lo que yo he conocido en las empresas en las que he trabajado, es que los profesionales están orientados al logro individual. Los convenios de desempeño a los que todos hemos sido sometidos y en los cuales nos toca participar al otro lado de la mesa, posteriormente, evaluando, rentabilizan lo existente con baja capacidad para trabajar en forma colaborativa en lo personal y conocimientos Hoy las empresas dentro de los muchos mecanismos, pero principalmente para evaluar, para incentivar desarrollo, utilizan la evaluación individual, muy pocos utilizan la evaluación colaborativa de equipo en 360°.

Pero, además, lo mencionó Marcela Angulo, que la mirada integral de un problema no se puede hacer si no está este elemento, en el caso de la minería, hace 10 años, el geólogo trabajaba por su franja, el minero por otra, el metalurgista,

el químico por otra. Hoy día favorablemente podemos hablar del conocimiento geo – minero - metalúrgico. Esa forma de trabajar se instaló en los últimos 8 años; antes nadie hablaba de conocimiento geo- minero- metalúrgico. Hoy día hablar de la economía circular no es factible, si no hay una mirada colaborativa y de preocuparse, desde el nacimiento hasta la tumba, de la piedra que vamos a instalar. Ahí tenemos un tremendo desafío, por lo tanto, lo que leía que viene en el libro, lo veo tremendamente demandante.

Otro párrafo: "Vinculación universidad con empresas líderes, tecnología, ingeniería chilena y extranjera, vinculación con el medio, la tercera misión". Eso también ya está instalado en las universidades, pero si en la empresa se habla de la tercera misión yo diría que tenemos casi la certeza que nadie va a entender el concepto. Sí van a entender la relación empresa - universidad y se va a llevar a la relación cómo recibimos a los egresados, en fin, cómo aceptamos unos programas colaborativos con la universidad. Sin embargo, lo que veo es que se ha instalado como tercera misión relación universidad-empresa, es que exista participación en algunos Consejos, se invita a ejecutivos a participar en esos Consejos. Mi opinión es que esa participación es absolutamente cupular, discontinua en el tiempo y que no tiene resultado práctico. y creo que el aporte que se logra, medido en el mediano y largo plazo, es bastante bajo. Se logran aportes puntuales, pero que no tienen permanencia en el tiempo.

Hay un elemento que tiene que ver con esto, pero que tiene su propio mérito, es el bajo número de doctores dentro de las empresas. En el caso de las empresas que conozco es muy bajo. Y creo que es parte de la falta de la relación, de la preocupación por la innovación y el tema científico tecnológico, no hay personas que estén dispuestas a salir de la Academia para trabajar dentro de las empresas.

Brevemente tengo tres programas en que voy a decir los títulos. Las empresas, en este caso CODELCO, viendo que pasa, que es lo que sucede con el egresado de las universidades actuales y lo mismo que toda la gran minería en Chile, tiene, hará unos 10 años, un programa de integración de los jóvenes profesionales que se llama Programa de Graduados, en que se le hace la inmersión dentro de la empresa en forma guiada y después de dos años como que recién comienzan a ser profesionales formales en la empresa y se les rutea hacia el interior. Eso lo están haciendo todos.

Lo que inició CODELCO este año, es un Programa Líderes Minería del Futuro, en que ejecutivos, profesionales del orden de 5, 8, máximo 10 años de experiencia, se les coloca en un Programa integral sobre el negocio del futuro, no se trata de ganar productividad en lo actual, sino que se parte hablando de la Cuarta Revolución Industrial aplicada a la minería. Se revisan los contenidos de aprendizaje y se desarrolla el liderazgo consciente, transformador, no el direccional.

Esto es largo, pero se está haciendo y se inició hace 2 años, el Programa Piensa Minería, en el cual se invita a las universidades y se financian doctorados y magisters en que, además del aporte económico, que es muy necesario, se le pone un tutor para poder interactuar permanentemente en el desarrollo de las tesis. Y quizás en base a este ejemplo se me permite decir que también cuando se habla de Tercera Misión, muchas universidades tienden a decir: "Miren les vamos a enseñar qué hacer" y yo creo que estas tres experiencias, en a lo menos dos, sería bueno que las universidades conozcan cuales son los contenidos que las empresas les están entregando a sus profesionales para desarrollar capacidades de liderazgo, para desarrollar cómo utilizar el conocimiento global dentro de problemas concretos. O sea, aquí el sentido tiene que ir de uno a otro lado. Y me gustaría terminar diciendo al mundo académico, que también la Academia puede aprender de las empresas.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Al término de las exposiciones, los invitados respondieron consultas y comentarios de los asistentes. A continuación reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

Sr. Rodolfo Saragoni.

—Me ha tocado participar en un Comité de la American Society of Civil Engineers y una de las discusiones de los ingenieros de Estados Unidos es el poco prestigio que tiene la profesión dentro de la sociedad americana, comparada con otras profesiones. La conclusión central es que la carrera de ingeniería en Estados Unidos dura 4 años, comparado con otras carreras que son leyes, medicina, arquitectura, que todas partieron con 4 y la gran tarea que tiene la Asociación es ahora como volver la carrera a 6 años para que retome nuevamente prestigio en Estados Unidos. Esa es la tarea que tiene el gremio de ingenieros americanos, así que yo felicito la primera presentación que dice que la carrera la profesión de ingeniería que se imparte en Chile, tiene mucho prestigio a nivel latinoamericano, pero la razón es por los 6 años, así que el manejo de esto de llevarlo a 4, creo que tiene que buscarse un equilibrio entre las dos. Y no es un paradigma

Sres. Cristian Barrientos, Ernesto Urbina, José Ceroni, Eduardo Santos y Lucio Ricke.

Sra. Silvana Cominetti en compañía de los Sres. Juan Music, Mario Letelier y Raúl Benavente.

en Estados Unidos ser carrera de 4 años. Eso es lo que hay que tener claro. Desde un punto de vista económico es otro tema, pero como profesión el gremio americano quiere volver a 6 años y uno de los líderes fue el MIT.

Pregunta.

—Dado que no hay más preguntas, este es un comentario en relación con lo que acaba de decir Rodolfo. Estoy de acuerdo que es posible acortar las carreras de ingeniería, un semestre probablemente, pero esto tiene que ver más con el ejercicio posterior de la profesión. En Estados Unidos un ingeniero de 4 años sale al mercado y no puede hacer nada, él tiene que demostrar experiencia varios años, rendir varios exámenes y recién es un ingeniero profesional acreditado. En Chile un ingeniero sale de la universidad con su cartón y puede firmar el plano de cualquier eventual desastre porque no tiene experiencia. Entonces creo que el tema de la duración de las carreras tiene que ir junto con habilitación para el ejercicio profesional. No es posible acortar las carreras sin modificar como nosotros regulamos el ejercicio de la profesión. Fíjense que uno de los problemas que tienen los ingenieros chilenos para ejercer la profesión en el extranjero, es que no tenemos un ente regulador que le garantice al Estado extranjero que nosotros podemos ejercer como ingenieros civiles. Lo hemos intentado muchas veces con el Colegio de Ingenieros y el Instituto de Ingenieros en conversaciones con Canadá, con Estados Unidos, con otros países y ha sido imposible lograr la equivalencia y el poder ejercer la profesión, porque tenemos esta limitación. Entonces, no es sólo acortar los programas sino, también reconocer que el ejercicio de la profesión por las responsabilidades que involucra, tiene que estar de alguna manera regulado.

Sr. Jorge Yutronic.

—Muy bien colegas, con estas dos intervenciones queda instalada una mesa de trabajo para ver cómo lo que proponemos en el Informe se puede llevar a la práctica, porque como debatimos eso y escuchamos los pareceres de mucha gente en todas las universidades chilenas hay una propuesta de solución. Pero no lo vamos a debatir ahora. Así que vamos a seguir con las preguntas y comentarios.

Sr. Mauro Grossi.

—Jorge, no he leído el libro, por lo tanto la respuesta a lo mejor está en él. Todos escuchamos una serie de indicadores. Algunos hablan de publicaciones, otros hablan de renta, otros de empleabilidad y en una construcción mental jerarquizamos las instituciones de educación. Dada tu experiencia de lo que se trabajó por toda la Comisión en el libro, desde tu punto de vista, ¿cuáles deberían ser los 3 o 4 indicadores más importantes que debería tomar una Facultad de Ingeniería para rankearse?

Sr. Jorge Yutronic.

—No voy poder responder esa pregunta ahora, solo para provocar interés por leer el libro. Pero puedo precisar que nosotros en general en el libro no adoptamos las posturas de los rankings, porque en parte se creó un ambiente interno entre nosotros de que no se confiaba mucho en ellos, de cualquier origen o país que fueran. Justamente porque no necesariamente dan cuenta de los desafíos concretos de la ingeniería en un

determinado entorno. Ahora, igual pensamos en indicadores y conceptos que están en el libro. Así es que te invito a leerlo.

Sr. Jorge Mardones.

—A raíz de las últimas intervenciones y sin haber leído el libro me preocupa esta tendencia de suponer que la universidad es la que tiene que aportar a la industria o a la empresa y no viceversa. Por lo menos en mi experiencia personal, mis profesores de los cursos tecnológicos eran gerentes activos en las empresas más importantes de Chile. El curso de Máquinas de Hidráulica lo hacia el Gerente de Proyectos de ENDESA, o sea que estaba absolutamente al día en las tecnologías relevantes para conocer y abordar ese tema. Maquinas Térmicas lo hacía el que era gerente de la Planta Mapocho de Chilectra. Y la verdad que uno aprendía con ellos cómo se hacen las cosas, cómo se innova, cómo se resuelven los problemas. En cambio, si tenemos solo investigadores, creo que es un problema.

Por lo que he oído hasta ahora, es fundamental formar ingenieros que sean capaces de tirarse a la piscina y resolver problemas, abordar proyectos con el apoyo de los científicos, los tienen que tirar el carro es al revés. Y la marginación de los ingenieros activos en las empresas es un fenómeno que no lo entiendo, cuál ha sido la razón por la cual los ingenieros activos con formación y experiencia no están en ellas. Lo otro es la experiencia profesional que no se valora. Como es posible que eso no lo aprovechen las universidades. Entonces no sé si está resuelto ese tema.

Sr. Jorge Yutronic.

—Jorge ese tema esta abordado en lo que llamamos **Estrategia de participación de las empresas** y está explícitamente señalado que la empresa debe tener un rol muy activo y justamente nos inspiramos en lo que a los más viejos nos tocó aprender en la universidad con lo que tú estas narrando ahora, que fuimos formados por ingenieros de la industria de aquella época. Sí, está recogido, lee a ver si está representado como exactamente te gustaría verlo.

Sra. Silvana Cominetti.

—Siguiendo con lo que se acaba de plantear y con lo que decía Marcela, hay una separación entre lo que define el MINEDUC con lo que se acaba de mencionar. Una universidad, para acreditarse, necesita altos indicadores de profesores con grados académicos, indicadores de los papers publicados, etc. Y estos últimos requerimientos van en contra del aprovechamiento del profesional de alto nivel, que podría ir a hacer clases. Entonces, hay que plantear en la estrategia, que conversen las políticas públicas de los distintos ministerios, tienen que ser coherentes, porque si no, en definitiva la universidad también se encuentra con dificultades.

Sr. Jorge Yutronic.

—Se nos acabó el tiempo, vamos a dejar todas las preguntas que tengan para conversaciones verticales que vamos a tener, solamente para lo que dice Silvana el Capítulo 1 de Propuestas de Estrategias es para articular a los actores públicos y nosotros desde el Instituto de Ingenieros vamos a convocar al Ministerio de Educación, a los organismos públicos a producir este fenómeno.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Fin de la presentación.

CONFERENCIA DEL MINISTRO DE DESARROLLO SOCIAL

Don Alfredo Moreno Charme

Sres. Dante Bacigalupo, Luis Nario, Alfredo Moreno y Germán Millán.

El día martes 20 de noviembre de 2018, en el Club de la Unión y ante una concurrida asistencia de personalidades del ámbito público y privado, se realizó la conferencia del Ministro de Desarrollo Social, don Alfredo Moreno Charme.

El Sr. Alfredo Moreno es Ingeniero Civil de la Pontificia Universidad Católica, estudió en el Colegio San Ignacio El Bosque, del cual egresó en año 1973 como el "mejor alumno de su promoción".

Hizo un MBA en la Universidad de Chicago. Posteriormente, fue profesor durante varios años en la Escuela de Administración de la Pontificia Universidad Católica de Chile. También en esa década fue activo miembro de ICARE y la Fundación Teletón de las cuales fue presidente.

Bajo la primera presidencia de don Sebastián Piñera, ocupó el cargo de Ministro de Relaciones Exteriores entre el año 2010 y 2014. En marzo de 2018 asume como Ministro de Desarrollo Social.

Ministro Sr. Alfredo Moreno.

—Muy buenas tardes. Veo a muchos amigos presentes y otros tantos a quienes conozco. Agradezco la invitación y la oportunidad de comentarles sobre lo que probablemente es una de las iniciativas más importantes y más novedosas de las que ha planteado el Gobierno y que yo personalmente, esta es una opinión, creo que puede transformar las políticas sociales en Chile y que se ha denominado "Compromiso País".

Lo primero que quiero decir y que ustedes bien lo saben, es que sin duda lo que el Gobierno aspira, particularmente un Gobierno como este, es a que haya crecimiento, oportunidades para la persona que más trabaja, la que más estudia, que les vaya mejor (Figura 1).

Figura 1

Esto tiene íntima relación con el factor central para lograr el desarrollo y las oportunidades para todos en Chile (Figuras 2 y 3).

Pero al mismo tiempo, no es posible tener un país que progresa, un país que avanza cuando hay un grupo de personas que se van quedando atrás y que sienten que los beneficios del desarrollo son de un grupo, pero que no les llegan a ellos y por lo tanto a lo que nos hemos dedicado todos en este trabajo, es a mirar quiénes son aquellas personas que tienen los problemas más serios y que aun cuando tengamos un país y una economía y un desarrollo que dé muchas oportunidades, esas personas no lo podrán tomar. Es una manera de definir, si ustedes quieren, a los pobres del siglo XXI.

En la década del 70 Miguel Kast hizo el mapa de la extrema pobreza y dijo, "bueno, estas son las personas donde hay que poner el foco, donde hay que poner los recursos del Estado, donde hay que poner la prioridad". La pregunta es: ¿Dónde tendríamos que poner el foco y la prioridad hoy día?, ¿cuáles son las personas que merecen y necesitan ayuda?

Figura 2

Figura 3

Entonces nosotros hemos puesto como eslogan lo que nos refleja, lo que queremos hacer, es que "nadie se quede atrás", al menos que nadie se quede atrás porque no tuvo la oportunidad de poder avanzar (Figura 4).

Figura 4

Y como dije, la manera de definir quiénes son esas personas a las cuales tenemos que darles una mano, para nosotros, los pobres del siglo XXI, son aquellas personas que sufren un

problema muy serio y que por otro lado no pueden superar esas murallas de las cuales están rodeados, sin la ayuda o la mano de otros (Figura 5).

Figura 5

Para eso entonces, creamos lo que se ha denominado: **"Mapa de la vulnerabilidad"**. Este mapa de extrema pobreza, lo que busca es identificar cuáles son esos grupos de personas que viven con problemas muy serios, que no son posibles de resolver simplemente en base al esfuerzo personal.

¿Cómo lo hicimos? Ahí están las distintas etapas, hemos trabajado con todos los Ministerios, con todos los antecedentes que tiene el Estado, con los antecedentes de las sociedades civiles, con el Banco Interamericano de Desarrollo, básicamente usando toda esa información.

Ahí están las distintas etapas, luego hemos validado esos grupos que resultan de esa información (Figura 6).

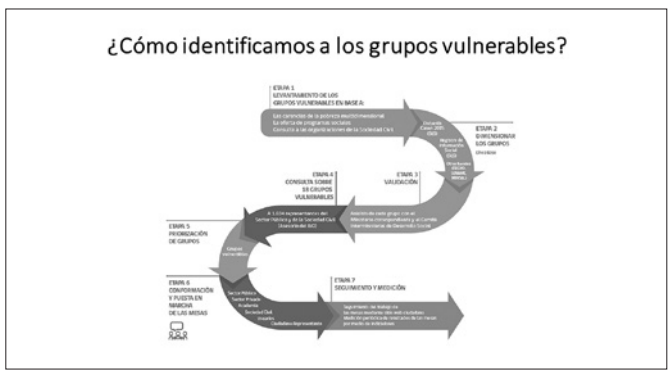


Figura 6

El Estado chileno tiene mucha información, mucho más de lo que uno cree. Luego de eso hemos hecho con los grupos que hemos detectado, encuestas a todos los alcaldes de Chile, bien notable. El 86% de los alcaldes contestaron esta encuesta, lo hicimos con los diputados y senadores, pero el número fue un poco inferior. Lo hicimos con los gobernadores, con la sociedad civil, con los intendentes, con los CORE. Al final les pedimos nos dijeran: ¿de estos grupos, cuáles son los más relevantes y cuáles son menos relevantes, en función de su vulnerabilidad y de la necesidad que tienen de tener colaboración y, además, dígannos si se nos olvidó algún grupo. No apareció ningún grupo que se nos hubiera olvidado.

Luego de esto, se generaron 16 grupos y lo segundo que surgió fue cómo resolver el problema. Hasta ahora en Chile nos hemos debatido en dos maneras de resolver esta materia.

Uno, hay gente que cree que todo lo tiene que hacer el Estado. El Estado debe determinar cuáles son los grupos que hay que ayudar, determina cómo se les ayuda y luego, además, ejecuta. Él tiene el colegio, hace el programa; él tiene el Centro para cuidar personas con discapacidad; él tiene el Centro para tener a las personas que son adultos mayores y que tienen dependencia, vale decir, él hace todo.

Otras personas dicen: *"no, el Estado tiene que definir la política, el Estado tiene que definir cuáles son estos grupos y cómo se van a resolver"*, pero en la ejecución lo que puede hacer es determinar un monto a pagar por un servicio. Y paga entonces, tanto por niño en el Sename, tanto por persona adulto mayor en dependencia en un ELEAM, o tanto por un niño que va al colegio o lo que sea. Nosotros creemos que eso está fuera de lo que hoy día es el mundo moderno.

Entre paréntesis, hace pocos minutos, el Presidente del Instituto don Luis Nario, me contaba que este Instituto tiene 130 años y que ya en las primeras sesiones del directorio al año siguiente a su constitución, se dedicaban a discutir la importancia y como podía darse alojamiento a los obreros. Los barrios obreros y la importancia de tener una vivienda, para que las personas después también pudieran ser un mejor aporte en el proceso productivo y tener una vida más digna.

Bueno, uno podría decir, qué tiene que meterse el Ingeniero en ese tema, es una tarea del Estado, pero no, este Instituto desde siempre ha tenido un interés en los problemas públicos, de otra manera transcurridos 130 años tampoco se entiende que inviten al Ministro del Desarrollo Social a explicarles un tema como el que estamos viendo. Eso quiere decir que ustedes si tienen interés por Chile, ustedes no van a ganar ni un peso más, ni un peso menos por este tema, de hecho, van a tener pagar un almuerzo. Pero no van a ganar nada en su empresa, en su actividad, simplemente es interés por el país.

Bueno ese interés de colaborar no solo lo tienen ustedes, lo tiene mucha gente y no solo el interés por las cosas sociales, hoy día muchas de las empresas que están funcionando mejor en el mundo y que se están transformando, son empresas colaborativas.

Wikipedia es un ejemplo. Yo recuerdo que terminé la Universidad en Estados Unidos y mi gran inversión fue comprar la Enciclopedia Británica, me la traje en una caja, además que tuve que pagar el trasporte. Nunca la abrí, había cambiado la tecnología.

Wikipedia, además, no tiene que contratar a nadie para que lo haga. Hay un montón de gente que la va construyendo y seguramente ustedes cuando tienen una duda sobre un tema ponen en internet, Wikipedia, pero nadie sabe quién la hizo, cómo la hizo, y todos colaboran.

Ocurre algo parecido con las personas que usan Waze. Todavía mis hijos se ríen cuando les cuento que existía la Guía de teléfonos que traía un mapa de Santiago por comunas y existía hasta hace muy poco y recuerdo que todos esperábamos los mapas de la guía telefónica que los actualizaban todos los años y antes de salir a cualquier parte difícil, uno miraba el mapa para saber cómo llegar. Hoy día ponemos Waze y nadie entiende por qué hay gente que colabora con la aplicación; nos dice si hay un carabinero un poco más adelante, si hay un accidente, un taco, etc. Bueno, la mezcla entre la colaboración y la competencia no solamente puede cambiar el sector privado, también puede cambiar la actividad en el país.

Es así como hemos convocado a la sociedad civil. La sociedad civil que hoy día tenemos en Chile es la más desarrollada en América Latina, lejos de Estados Unidos, por supuesto, pero tenemos 5 o 6 organizaciones de nivel continental.

La **Teletón** está en 14 países. Cuando yo estaba de presidente tenía 80 Centros y creo que hoy supera los 100 o más. Debe ser la institución más grande del mundo preocupada de la discapacidad física de los jóvenes, en términos de la población que atiende. Son 400, 500 millones de atenciones, aquí en Chile, se hace cargo del 96% de la rehabilitación de jóvenes.

COANIQUEM, es una entidad que creó un doctor y que hoy día opera en muchísimos países, con centros en todas partes, incluido Estados Unidos.

América Solidaria, que trae personas de distintos países, jóvenes que ayudan en comunidades pobres en los distintos países del continente.

Techo para Chile, que ya no se llama Techo para Chile, se llama **Techo** porque opera en tantos países que ya no tenía sentido que se llamara así; se llamó también, Techo para mi País, y luego se llama simplemente **"Techo"**, porque opera en todas partes.

Yo recuerdo cuando era Canciller, usaba **Techo** para las ayudas en Haití, por ejemplo. Y podríamos continuar.

El Hogar de Cristo, que no tiene una operación internacional, pero que si tiene un tamaño que realmente la distingue entre cualquier organización solidaria en cualquier país.

Entonces, esa gente sabe más de muchos de los problemas. ¿Ustedes creen que en materia de rehabilitación de jóvenes sabe mejor el Estado o la Teletón? La Teletón se ha hecho cargo durante 40 años del 96% de la rehabilitación de los jóvenes, ¿quién puede saber más?, es evidente.

¿En materia de campamentos, quien sabe más que Techo? Si yo voy a preguntar al Ministerio de la Vivienda hoy día cuántos campamentos hay, me van a decir que hay 280. Si yo voy y observo la realidad y miro la encuesta de Techo, me dice que hay 700.

Si voy y pregunto, si estamos ganándole a los campamentos o estamos perdiendo. Si yo miro los números del Ministerio de la Vivienda, le estamos ganando. El año 2011 es la última vez que se midieron los campamentos, había 500, hoy día hay 280, hemos reducido 220, pero ¿cómo? si hay 700. Sí, pero esos no están en la encuesta… Es así.

Estamos haciendo un nuevo catastro de campamentos. Teníamos 100 mil familias en campamentos, llegamos a tener 25 mil. Hoy día, la última estimación de Techo es 43 mil, nuestra estimación es que son 50 mil familias las que viven en campamentos.

Chile está perdiendo en este tema.

También estamos congregando a las universidades. Cuando estudié en la Universidad y aquí hay gran profesor mío, don Marcos Lima, había 200 mil alumnos y éramos el 5% de la población de los jóvenes que íbamos a la universidad. Hoy día es 1 millón 200 mil jóvenes que van a la educación terciaria, aproximadamente un 50% de los jóvenes tienen algún tipo de educación terciaria. O sea, cambió la realidad radicalmente. Hay muchas universidades nuevas, vean ustedes lo que son sus campus, los recursos que tiene INACAP o cualquiera de estas universidades nuevas. No solamente recursos monetarios número de alumnos, sino que también los profesores que tienen. Esa idea del profesor universitario con los codos

raídos, en muchas de las universidades y en muchas de las facultades, ya no existe.

Uno puede pasar del sector privado, de ser gerente de una empresa, a la universidad. En una de esas hasta gana más en la universidad que lo que gana en la empresa y es gente muy talentosa, muy capaz, que ha tenido una participación muy destacada en el sector privado o público y hoy día puede estar en la universidad. Ese talento tenemos que usarlo y entre paréntesis las universidades necesitan que sus alumnos se adecuen a tener relación con el mundo real y con el país real. Le pueden enseñar matemáticas, física, del código civil, pero nada de eso va a permitir que sus alumnos sean realmente personas útiles, si es que no tienen la relación con lo que es verdaderamente este país. Así que es una oportunidad para ellos.

Bueno, la sociedad civil, el sector privado y también quienes sufren del problema. Las personas que sufren del problema saben mucho del mismo. Hemos creado grupos para eso, se los voy a mostrar y luego de eso, además, estamos creando maneras de medir si acaso avanzamos o no. Ustedes saben, el viejo dicho que dice: *"que todo lo que se mide progresa y lo que no se mide se detiene"*.

Bueno, en Chile tenemos información que nos permite saber dónde estamos. Por ejemplo, tenemos la encuesta CASEM, una encuesta de nivel mundial que es enorme, que mide un montón de temas. Pero se toma cada dos años, los resultados entre que se toma y le dan resultado a uno puede demorar 8 o 9 meses. O sea, ¿sirve para saber dónde estamos?, sí. ¿Sirve para dirigir el proceso?, no. ¿Ustedes dirigirían sus empresas, sus iniciativas, lo que están haciendo, donde tuvieran los resultados de lo que están haciendo cada dos años o dos años y ocho meses? Jamás harían eso.

Para dirigir la economía, por ejemplo, las cuentas nacionales se hacen una vez al año. Pero hay un indicador todos los meses que me dice, "mire, el producto geográfico creció 3%", obviamente que no creció 3%, esto es una estimación, una buena estimación. Pero si no supiéramos eso, el ministro de Hacienda, el Consejo del Banco Central, no podría tomar las decisiones que tienen que tomar en periodos mucho más cortos que un año. Después se corrige un poco para allá, algo para acá, vale decir, tienen indicadores, nosotros no tenemos.

Tenemos que crearlos para cada una de estos objetivos porque esto hay que explicárselo a los accionistas. Los accionistas de esta empresa son 17 millones de chilenos, que tenemos que explicarle como estamos avanzando.

Ese proceso dio origen a 16 grupos vulnerables, que se definen por lo que ya dije hace unos momentos. 16 problemas enormes, profundísimos que no pueden ser resueltos por esas personas por sí mismas (Figura 7).

Figura 7

Estos abarcan 10 Ministerios. El Ministerio de Desarrollo Social es un Ministerio chiquitito, es pura pinta. En materia, por ejemplo, de presupuesto, debe gastar entre el 1 y 1,5% del producto. Debe ser un décimo o un quinceavo de lo que es educación, salud, vivienda. Esos son los que tienen el dinero, es verdad, son grandes y tienen una tremenda infraestructura. Esta es una cosa pequeña.

Pero su tarea es coordinar las políticas sociales y esto es una muy buena manera de lograrlo. Se pone cuáles son las cosas que hay que privilegiar, qué es lo que hay que poner primero, qué son estos grupos y luego de eso hay Ministros que están a cargo de cada uno de sus temas. Déjenme darles algunas ideas (Figura 8).

Figura 8

Ya les mencioné campamentos, tenemos 43 mil familias, ya les dije probablemente son 50 mil. Pero además de eso tenemos 500 mil personas que viven hacinadas. Más de tres y media personas por cada dormitorio. Felipe Berrios el sacerdote jesuita dice que los campamentos son como los icebergs, los campamentos es lo que se ve, pero la parte que está abajo es más grande que lo que está arriba. Y la parte que está abajo son medio millón de personas. Si yo saco un campamento y dejo las mediaguas, las personas se irían de donde están a vivir a las mediaguas. Si ustedes dicen que hay que erradicar un campamento, inmediatamente le dicen a uno: "si, si, pero oye, pero ten lista la retroexcavadora, en cuanto salgan, botas todo y cierras", porque si no, se vuelve a llenar. Porque hay gente que vive peor que en ese campamento.

Este es un número que a ustedes probablemente como ingenieros, también les va a impactar, hay más de 1 millón 400 mil personas que no tienen agua potable en Chile o que no tienen baño (Figura 9).

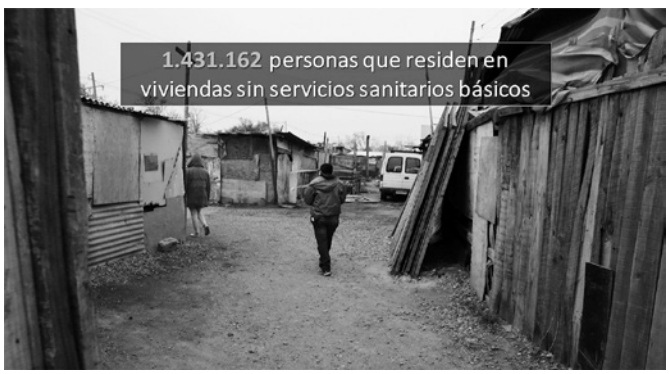


Figura 9

Realmente creí que este número no era así. Mi opinión, además lo he usado en cuanta charla existe, es que Chile resolvió el problema sanitario a principios de los noventa, tremendo impacto, bajó la mortalidad infantil, aumentó la esperanza de vida, todos son datos duros y por lo tanto este problema está resuelto.

Pero pensar que el 8% de la población, o algo por el estilo, no tiene acceso a agua potable, que no tiene un baño dentro de su casa, lo que a mí me trae a la mente es que esas personas viven como vivíamos en Chile en los 50, en los 60, o en los 70. O sea, los hijos de esas personas tienen una esperanza de vida que no es 80 años. Esos niños que nacen hoy día en ese lugar, tienen una esperanza de vida cercana a los 60 años. Como era la esperanza de vida que tenía Chile en aquella época. O 70 años. O sea, la diferencia de esos niños es que tienen 10 años menos de vida que nuestros hijos o nuestros nietos.

Eso está casi todo en sector rural, pero es un número gigante. El sector rural es relativamente chico, o sea el tamaño de la pobreza de los sectores rurales es increíble. Hoy día en Chile como casi todos vivimos en las ciudades, se nos olvidó el sector rural. Pero el sector sigue viviendo y existiendo, pero vive en una forma muy marginal. Parte el problema de la Araucanía por ejemplo, tiene que ver con esto, el lugar donde proporcionalmente hay menos acceso al agua potable, más problemas con el acceso a un baño, es la Araucanía.

Tenemos 12.400 personas que viven en la calle (Figura 10).

Figura 10

Estas son personas que la mayoría de las veces, casi todos, tienen adicción al alcohol, a las drogas, al neoprén, a la pasta base. No tienen un techo, no tienen un ingreso y al mismo tiempo han cortado las relaciones con sus familias y además de eso, muy usualmente tienen problemas mentales. O sea, estas personas son más vulnerables. Para esas 12.500 personas estamos haciendo una nueva encuesta que parte hoy día, creemos que son un poco más, el Hogar de Cristo piensa que son del orden de 15 mil. Pero de ese número partimos el conteo hoy día con los niños, el último número que tenemos 700, 800 son niños, que viven en la calle en esas condiciones, completamente solos.

Tenemos otro número impresionante, casi 5 millones de personas que tienen más de 18 años y que no han terminado la educación media (Figura 11).

Piensen ustedes aquí estamos en el Instituto de Ingenieros, personas que estudiaron la educación media después estudiaron una carrera de ingeniería, probablemente muchos de ustedes

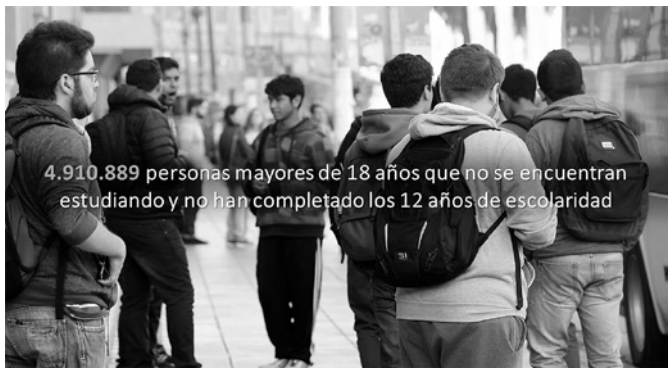


Figura 11

estudiaron además después un postgrado, un perfeccionamiento, en fin. Bueno de los 13 millones de personas mayores de 18 años, 8 terminaron la educación media, no digamos que llegaron a una profesión o a un postgrado y cinco no. O sea 36,37% de las personas, ¿dónde están? Todo lo que uno se cruza todos los días son otros.

Les doy otra característica más. En Chile la pobreza es multidimensional, que ustedes lo habrán escuchado, uno de los elementos que toma es qué nivel de educación tienen las personas y si tienen el nivel. Pero con una condición bien interesante. Si ustedes no terminaron la educación media y tienen más de 18 años, pero cumplieron 18 años antes del año 2001, no son pobres. Si ustedes tienen más de 18 años, no terminaron la educación media, pero cumplieron los 18 años después del 2002, son pobres. Muy simple: en esa época Chile dictó una ley que dice que tenemos que tener educación media. Entonces el uno se cuenta, el otro no se cuenta. Son igual de pobres tienen el mismo problema, por ello aquí hay una oportunidad gigante.

El número es el total. Estos son todos independientemente de cuándo cumplió los 18 años. Si cumplió 18 años y no terminó la educación media, ahí está. Aquí hay 1 millón 600 mil personas que tienen educación media incompleta que podríamos sacar de esta condición que significa no poder trabajar en el Estado, no poder trabajar en muchas de las empresas en que ustedes trabajan, probablemente la mayoría. Hay muchos de estos que no tienen completa la educación básica, por lo tanto, tampoco pueden tener carnet de chofer. ¿O sea, qué posibilidades de trabajo tiene esa persona?, muy limitada. Entonces, hay 1 millón 600 mil personas que tiene educación media incompleta, pero si hacemos un Programa, lo hacemos estudiar en las noches, los sábados en la mañana, en los liceos, hacemos algo por internet, hacemos 2 cursos en uno, podemos sacar 1 millón y medio de personas de esta condición rápidamente y ponerlos, no digamos que en nuestro caso, de lo que tienen los otros 8 millones de personas mayores de 18 años a los que me referí.

Hay 400 mil personas, 350 mil personas en Chile que nunca entraron al colegio. ¿Cuántas personas conocen ustedes que nunca entraron al colegio? poquitos, quizá un señor viejito, en el campo. Bueno, aunque ustedes no crean, 350 mil personas todavía en Chile viven y nunca entraron al colegio, no los conocen. Si yo tuviera que decir que la gente que vive en la calle entre 20 y 30% de esas personas nunca entraron al colegio y lo diría sin ninguna encuesta, simplemente solo por tomar desayuno con ellos durante el invierno. O sea, desde el momento que partieron su destino estaba marcado de terminar viviendo en la calle, sin ninguna oportunidad de salir adelante.

Otro número, he puesto aquí algunos, no los voy a dar todos. Este otro número increíble en cifras no hay estadística en Chile (Figura 12).

Figura 12

Que son las mujeres que sufren violencia intrafamiliar, que ya es un problema severo, que cuesta salir de ahí por el miedo, hay que cortar con una pareja, puede haber niños, en fin, todo un problema. Pero que, además no tienen ingresos propios, o sea, si se va de esa situación, además de todo lo demás, no sabe bien de qué va a vivir. Esta encuesta no existe hemos cruzado información, nuestra estimación es que hay del orden de 500 mil mujeres en Chile, medio millón de mujeres que sufre violencia intrafamiliar y al mismo tiempo no tiene ingresos propios, por lo tanto, salir de esa condición es extremadamente difícil.

Tenemos 100 mil personas que están en los sistemas penitenciarios chilenos, del orden de 40 y tantos mil en las cárceles y 50 y tantos mil están en los sistemas abiertos o semiabiertos (Figura 13).

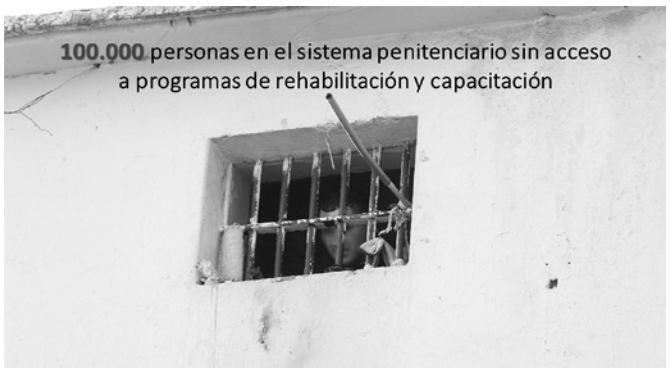


Figura 13

El problema acá, no es que estén presos, lo están presos porque los condenaron. La pregunta es ¿si el día que terminan su condena, tienen la posibilidad de dejar de estar preso, pueden dejar de ser delincuentes? Las cárceles son verdaderas universidades del delito y cuando salen de ella nadie los contrata. ¿Qué estamos haciendo en esta materia? Creamos estos grupos, los habíamos iniciado en la CPC, lo tomó el Ministro de Justicia, estamos trabajando en esto. Probablemente alguno de ustedes pertenece al rubro de la construcción, la Cámara Chilena de la Construcción, los que están en la parte empresarial. Los programas de trabajo en cárceles muestran índices de rehabilitación del 85%. Entonces la idea es darle la posibilidad de estudiar y trabajar a todas, las 100 mil personas. Vamos a partir el año 2019 con 16 cárceles, ya se están integrando las empresas que van a trabajar ahí, vamos a tener hasta 3 mil reclusos, una en cada región. Estamos creando un concepto de uno más uno. Y nuestra idea es llegar a que cada una de esas personas que sale de la cárcel tenga la oportunidad de tener un contrato de trabajo con por lo menos un año de contrato. O sea, la persona va a poder aprender un oficio, va poder trabajar mientras está en la cárcel y juntar algunos recursos porque el método por el cual se le paga, es que se le paga un monto del 30% en el mes a mes y se guarda un 70%, que se entrega en el momento que sale en una libreta de ahorro. Va a tener un pequeño capital, va a tener un contrato de trabajo para poder partir. Si quiere seguir siendo delincuente ya no es por falta de oportunidades.

Los países que han hecho esto, Holanda, Finlandia, Dinamarca, Noruega, hoy día su problema es qué hacen con cárceles. Holanda acaba de hacer una licitación internacional para recibir presos extranjeros en sus cárceles porque tiene demasiado espacio y pocos presos. Finlandia, Dinamarca, Noruega, están haciendo licitaciones internacionales de arquitectura, para ver que pueden qué hacer con las cárceles. Una cárcel por ejemplo la dejaron de monumento, otra fue convertida en hotel de lujo, otra en un mall. Ahí hay varias ideas para cuando esto haya resultado, qué hacemos con las cárceles.

Pero esto que parece imposible, esto no solo tiene un beneficio para las personas, puede tener un beneficio de mediano plazo para el país muy relevante, porque cuando uno dice que la tasa de reincidencia es tan alta, es que las mismas personas, cada vez que toman preso a una persona por algo e investigan, resulta que todos tienen un prontuario. Ya lo habían tomado por esto, o por esto otro. Son las mismas personas que entran y que salen.

Déjenme contarles otro aspecto de lo que surge de estos nuevos pobres o nuevos vulnerables. Piensen ustedes qué contestarían a esta pregunta. ¿Si usted o alguien de su familia en los últimos 30 días, no 30 años, no 10 años, no el último año, sólo 30 días ha estado en relación con narcotráfico, consumo de drogas, con narcotráfico y o balaceras? Las alternativas, 1. Nunca, Alternativa 2. A veces, Alternativa 3. Regularmente en los últimos 30 días. O sea la mayor parte de los últimos 30 días yo o alguien de mi familia he estado en relación con el narcotráfico y balaceras. Y la última alternativa es Siempre, o sea todos los días de Dios los últimos 30 días. ¿Cuántas personas ustedes creen que contestan siempre? (Figura 14).

Figura 14

En Chile, no en otro país, no en Namibia, no en Etiopía, no es México. Chile, 2 millones 400 mil personas contestan, esta es la encuesta CASEM. 2 millones 400 mil personas contestan que siempre en los últimos 30 días él o alguien de su familia ha estado siempre en relación con el narcotráfico o balaceras. Esto a nosotros nos parece peor que ser pobre, peor. Yo prefiero que tenga problemas para pagar la cuenta del mes que pensar que yo o que mi hijo está en una cosa que le puede costar la vida en cualquier minuto. Y esto, así como el otro es un problema rural, este es un problema que está concentrado en las ciudades, particularmente en Santiago. O

sea, esas personas viven al lado de ustedes, al lado de nosotros, todos los días, mientras ustedes caminan, aunque a ustedes les parezca raro, aunque a todos nos parezca raro, a mí me parece raro, no es una cosa con ustedes, que 2 millones 400 mil personas de las cuales la mayor parte vive aquí en Santiago, Biobío y Valparaíso viven un calvario permanente por vivir en un barrio determinado.

Otro de los grupos vulnerables es lo que se denomina los Barrios Críticos. Que son dos millones 400 mil personas que tenemos que cambiarles radicalmente sus condiciones de seguridad.

Como ustedes pueden ver el concepto del problema social es mucho más amplio. Tiene que ver con educación, con salud, con las cárceles, tiene que ver con vivir en un barrio seguro. Es peor que la pobreza.

Este va a ser un hit aquí. Muchachos, este país es muy posiblemente el campeón mundial del envejecimiento. Chile, ya sabíamos que era de los que envejecía más rápido. Y estamos pasando de ser un país latinoamericano con una base de jóvenes muy grande, a ser una pirámide invertida completamente. Pensábamos que el año 2025 de acuerdo a las estadísticas las personas mayores de 60 años iban a superar a los niños entre 0 y 15, el año 2025. La Casen lo que muestra es que ya lo superamos. Es tal la velocidad, que prácticamente el 20% de la población ya es adulto mayor. Buena toda la humanidad está envejeciendo, pero Chile lo está haciendo más rápidamente que ninguno probablemente.

Como último dato de natalidad muestra 1,7 como tasa de natalidad, eso es mucho más bajo de lo que pensábamos, por lo tanto, esto se va a envejecer mucho más rápido. Si eso es así, como digo, podríamos ser campeones mundiales. Esto genera un problema enorme, no estamos preparados para nada. Este es el nuevo SENAME del futuro.

Pero para darles los números de hoy, y esto tiene mucho que ver con lo que estamos haciendo con la reforma previsional, por eso es la reforma previsional incorpora un seguro de dependencia, por eso estamos creando un subsidio de dependencia porque les quiero dar los números. Si yo solamente tomo las familias del 40% más pobre, solo dentro de las personas que son realmente pobres, y miro familias pobres que tienen que hacerse cargo de un adulto mayor con dependencia moderada o severa, significa que necesito una persona todo el día al lado, 24 horas al día, 7 días a la semana (Figura 15).

Figura 15

250 mil familias en Chile pobres tienen que hacer eso. Probablemente ustedes conocen o tienen un familiar o conocen a un amigo que le pasa esto. Yo tengo a mi madre, mi madre tiene 96 años está muy bien físicamente, pero tiene demencia senil, o sea que si saliera por la puerta no volvería. Significa que tiene que tener 24 horas al día alguien al lado. Para una familia pobre es imposible pagar eso. Hay que tener 4 personas en turno, hay que tener además alguien de la familia que tiene tiempo para administrar el problema, porque si falla uno, alguien tiene que llamar a un reemplazante. Esto es una cosa impresionante. Estas personas significan que inmediatamente queda condenado a la pobreza porque hay un integrante de la familia que tiene que dedicarse a esto. Por eso ustedes pueden ver ya empezaron las organizaciones de cuidadores, estos es una tarea de locos. Tener una persona que no se puede cuidar solo, un adulto que actúa como un niño que hay que cuidarlo todo el día, no es solamente un trabajo físico enorme, requiere como digo muchísimo tiempo y además es enormemente estresante. Entonces tenemos 250 mil familias que están en esa condición.

Tenemos casi 7 mil niños que están en el SENAME, ustedes han visto y oído mucho sobre lo que pasa con estos niños. A mí me tocó presidir el acuerdo nacional por la infancia. Les quiero dar nada más un dato para que ustedes vean el abandono que tiene esta gente, que para mí ha sido el más decidor. A la gente le dicen que hay 7 mil niños en el SENAME, no hay 7 mil niños, lo descubrimos con dolor (Figura 16).

Hay mil niños que no son niños. Tienen entre 40 y 50 años, son personas en situación de discapacidad intelectual, fueron abandonados por sus familias en un hogar de niños hace 40 años. Ahí están, hace 40 años que su familia nunca más volvió, son personas que caminan, pero que no son capaces de cuidarse por si mismos, y no tienen idea ni tienen conciencia de lo que les pasa. Y el Estado decidió que la subvención por un niño es la mitad que la de un adulto mayor con discapacidad intelectual, para qué lo vamos a cambiar…da lo mismo; eso significa que la supervisión queda en el SENAME y no queda en el Servicio Nacional de la Discapacidad que son lo que

saben sobre este tema. Han pasado 40 años, esas personas siguen ahí. Los olvidaron sus familias, después los olvidó el país.

Tenemos 11 mil personas en la lista de espera Auge, ustedes saben, la lista de espera de salud es infinita (Figura 17).

Figura 16

Figura 17

Hay 1 millón 400 mil personas esperando por tener una hora para que le vean la rodilla que lo hace, porque los meniscos, porque le duele la cadera, porque le falla el oído, todas esas cosas, son problemas, sí, hay que arreglarlos, sí. Pero se puede sobrevivir cojeando un poco. Esto no es así, para estar en la lista espera AUGE hay que tener una enfermedad que, o uno se está muriendo, enfermedad gravísima, cáncer, por ejemplo, o hay que tener algo invalidante. Por ejemplo estar ciego. Para estar en la lista Auge tiene que haber perdido las dos terceras partes de la visión. 40% de esa lista son personas que tienen problemas de visión. Hay 2000 personas que tienen cataratas, que ustedes bien saben, son 15 minutos y se arregla y ahí están esperando. Promedio de tiempo entre 3 y 4 años de ceguera. La ley dice que en 90 días deberían tener su operación, no se cumple.

Hay otros mil, que tienen glaucoma diabético, también se arregla con la misma operación, en 15 minutos, también llevan 3 o 4 años esperando. Hay otros que tienen difracción de no sé qué cosa, pero se arregla igual…ahí están. Y lo otros restantes 60% son enfermedades tipo cáncer, que es peor todavía, no están ciegos, simplemente se mueren en la lista de espera. Este grupo ya está trabajando, ya tiene su objetivo al 31 de enero, vamos a haber sacado todas las personas que tienen el problema de visión. Y vamos a tener personas que han esperado 4 o 5 años, ciegos, para una operación ridícula que toma 15 minutos. Al 31 de diciembre deberíamos tenerlos a todos viendo. ¡Qué cambio! Adicionalmente a eso a mediados del año, fines de junio, de julio esa cifra eso espero, así es el objetivo que ellos tienen, que tampoco se nos muera la gente esperando que le hagan una quimioterapia o una radioterapia.

Nosotros creemos que, como dice un filósofo famoso, todos estos problemas si ustedes los piensan son inmensos, cómo arreglar cada uno de estos problemas, son todos problemas gigantes, yo no discrepo de esa visión. Pero como dice este filósofo que ustedes conocen muy bien, el problema no es el problema, el problema en sí no es el problema, el problema es cómo uno enfrenta el problema. Con qué actitud resolvemos el problema, esto es válido para esto, esto es válido para la Araucanía, esto es válido para lo que sea. Si uno piensa que el problema no tiene solución. Bueno ya sabemos, no tiene solución. Si uno cree que puede resolverlo, convoca a las personas, pone los recursos, y se dedica y trata de intentarlo, muy posiblemente si tiene posibilidades. Solo por hacer un símil con la Araucanía. La gente dice, no tiene solución, cuidado, Canadá lo resolvió, Nueva Zelanda lo resolvió, Australia lo resolvió, Colombia lo resolvió. ¿Por qué no lo vamos a resolver nosotros? Claro que hubo que sentarse, claro que hubo que pasar por situaciones como las que estamos pasando, no una vez, sino mil veces, pero se resolvió, con dolor, con ajustes, con esto, con lo otro, con cambios y se resolvió.

Y ustedes saben bien quién es este filósofo conocido por todos, según ustedes han leído sus libros, el Capitán Sparrow de Piratas del Caribe, que como todas las películas de Disney tiene una moraleja (Figura 18).

Y digo, tiene razón que el problema no es el problema, sino con qué actitud lo resolvemos.

Y déjenme darles un ejemplo de alguien que probablemente ustedes conocen, el Dr. Fernando Monckeberg (Figura 19).

Hace 50 años atrás, no fue una genialidad lo que dijo: "No podemos seguir con la desnutrición, hay que acabar con la desnutrición" y digo no fue una genialidad porque venía hace

Sres. Álvaro Fischer, Jorge López, Hans Feddersen, Sergio Jiménez y José Antonio Guzmán.

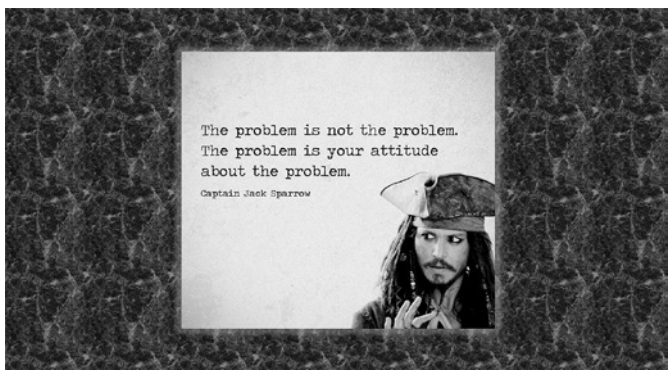


Figura 18

Figura 19

mucho tiempo, en todas las Fundaciones, La Gota de Leche, el Patronato Nacional de la Infancia. Los presidentes decían hay que acabar con la desnutrición, y lo querían ayudar a hacer, con ollas comunes, había que repartir alimentos, en fin, se crearon las Gotas de Leche, pero la conclusión era: "siempre perdemos contra la desnutrición" y ustedes leen los artículos de aquella época "con la desnutrición no hay nada que hacer, es un flagelo que nos gana y no tiene solución".

Hoy día, 50 años después gracias a esa persona que miró ese problema con otra actitud, dijo: "vamos a terminarlo". Se metió, entre paréntesis, en la Universidad. Creó el INTA, se metió en el Estado, cambió las normas, cambio las leyes, paso a ser una obligación entregar el medio litro de leche y tantas otras cosas de políticas sociales y así creó una organización de beneficencia el CONIN.

Entre paréntesis, 50 años después Chile es el único país latinoamericano que le ha ganado a la desnutrición, otros países van en camino, pero hoy día el único es Chile.

Otro parangón que quisiera hacer es con el tema de la Araucanía, ha estado tan de moda en los últimos días, si ustedes me preguntan, ¿cuál es la clave?, yo me he pasado estos meses en la Araucanía y conociendo algo que no conocía, si usted me dice ¿Qué es lo más importante? lo más importante es que

Sres. Luis Zaviezo, Tomás Guendelman, Mauro Grossi, Mario Guendelman y Lucio Ricke.

las personas que viven ahí, mapuches y no mapuches sientan que de verdad nos importan (Figura 20).

Porque lo que ellos sienten, es que no nos importan y creen también que de unos a otros de los grupos que están ahí no les importa lo que le pasa al otro. Esa sensación de abandono, de falta de empatía, de que esta región es donde todos pierden y que es un problema sin solución, es una verdad que se crea por sí misma. Cuando uno cree que los problemas no tienen solución es una verdad que se hace evidente por sí sola.

Y entonces lo que estamos haciendo es todo lo contrario, poner esos problemas, los más agudos, los más difíciles, donde hay más gente que lo necesita, en la primera prioridad y trabajar con todo para poderlo resolver, ya sea en la Araucanía, ya sea con los niños o ya sea en estos problemas sociales que acabo de mencionar.

Por eso hemos convocado a toda esta gente, todos estos grupos están trabajando, es un agrado ver lo mejor de los talentos de Chile, trabajando en cada uno de estos temas (Figura 21).

Luego comenzaremos a convocar más gente, porque cada uno de estos temas tiene realidades regionales, tiene aspectos que son subdividibles, todo lo que se pueda subdividir, medir y dar responsabilidades específicas nos va a permitir convocar a más

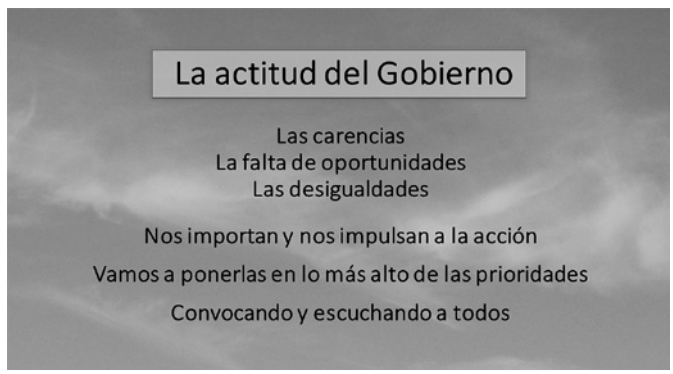


Figura 20

Figura 21

gente para hacer lo que yo llamaría una Cruzada Nacional por las personas que son más débiles y más vulnerables.

Esto tiene dos objetivos. Uno es resolver los problemas de capital humano, el que está enfermo en la lista de espera que se resuelva, el que no tiene educación arreglarle eso, el que sufra violencia intrafamiliar, resolver ese problema. Son evidentemente una mejora del país, si a cada persona que tiene un problema podemos resolvérselo.

Pero hay una agenda oculta también, y es si ustedes miran en Wikipedia qué es el desarrollo humano (Figura 22).

Figura 22

Ustedes van a ver que el desarrollo humano tiene dos componentes uno es la mejora del capital humano de cada persona, de lo individual. Pero hay una segunda parte tanto o más importante que es mejorar el capital social. La forma en que nos relacionamos, sentir que las personas que están a lado nos importan, sentir que somos un equipo, sentir que pertenecemos al mismo país, que tenemos raíces comunes.

Esto podría ser materia de otra discusión a lo mejor futura, en este Instituto, de cómo se tiene que construir un país unitario hacia adelante con las nuevas realidades que tenemos que enfrentar no solo en Chile, sino que en el mundo. Parte de lo que estamos viendo hoy día en la Araucanía y en tantos otros lugares, en Rapa Nui en términos de las personas de un tipo de otro, tienen que ver con cómo hacemos una comunidad, pero ahora dentro de la diversidad. Ya no podemos hacer un país que sea exactamente igual porque ya no lo somos.

Sr. Alfredo Moreno Charme, durante su conferencia.

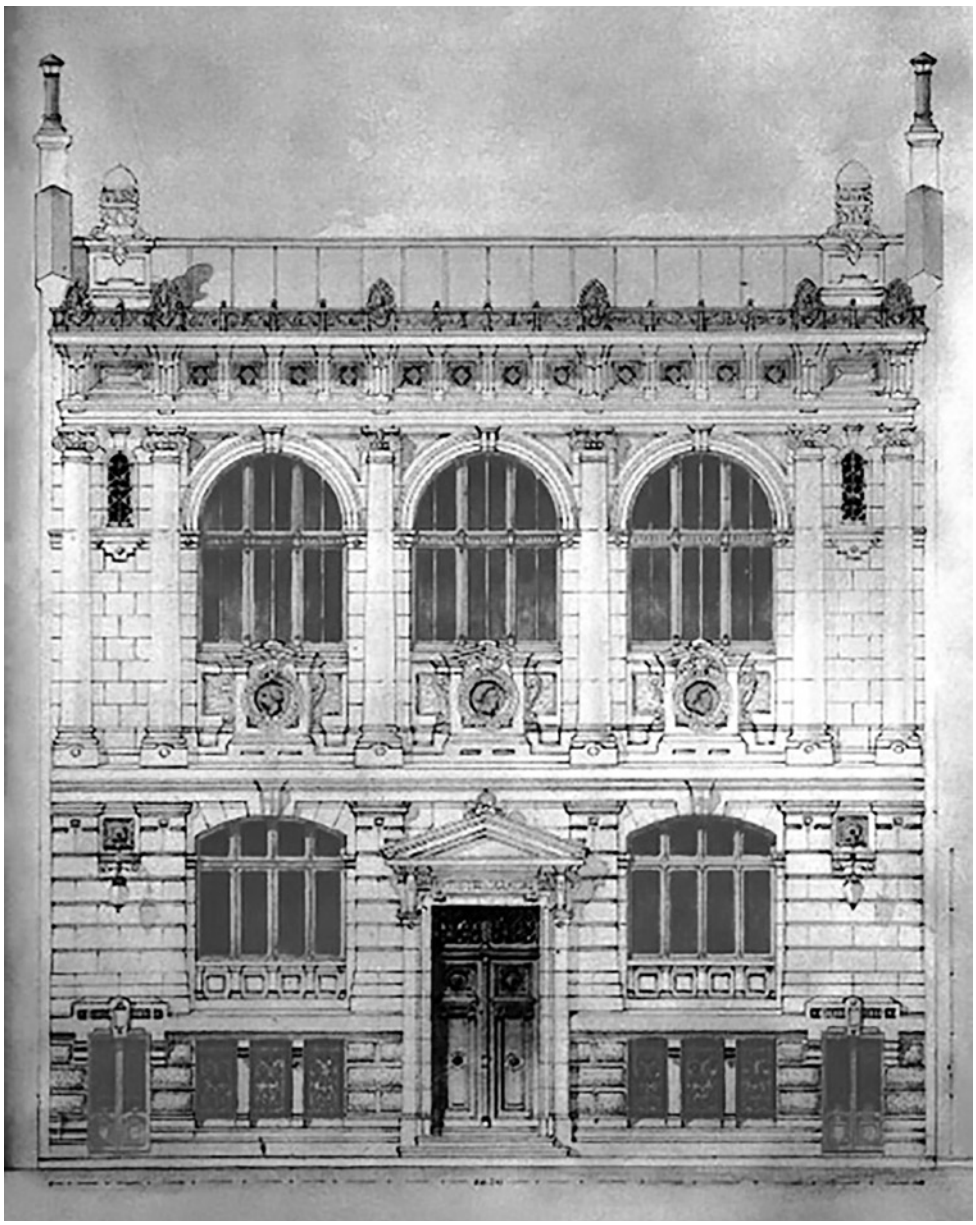
Y porque hoy día las comunicaciones, están pasando en todas partes, en Europa países que todos ustedes conocían hoy día no existen. Bueno creemos en crear un país más unido, un país donde las personas trabajan mejor en conjunto, eso hace un mejor país. Nosotros pensamos que este desafío que reconozco es gigante, cada uno de estos problemas daría para gobiernos enteros, pero esa es la realidad que tenemos, esa la tarea que tenemos que desarrollar, estos no son personas, son problemas. Las personas a veces tienen 4 o 5 de estos problemas al mismo tiempo, pero creemos que, si lo hacemos juntos, si lo hacemos con talento, si lo hacemos con una buena organización, midiendo, usando los mismos talentos qué ustedes ocupan para dirigir o haber dirigido muchas de las organizaciones que les ha tocado trabajar, podemos hacer un cambio y podemos superar ese desafío.

Muchas gracias.

(Aplausos).

Fin de la conferencia.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS



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

En esta ocasión se presentan dos extractos de las entrevistas realizadas al ingeniero Alejandro Steiner Tichauer y a la ingeniera María Ofelia Moroni Yadlin. Estas entrevistas, como las que se hagan a futuro, serán objeto de una publicación especial.

ALEJANDRO STEINER.

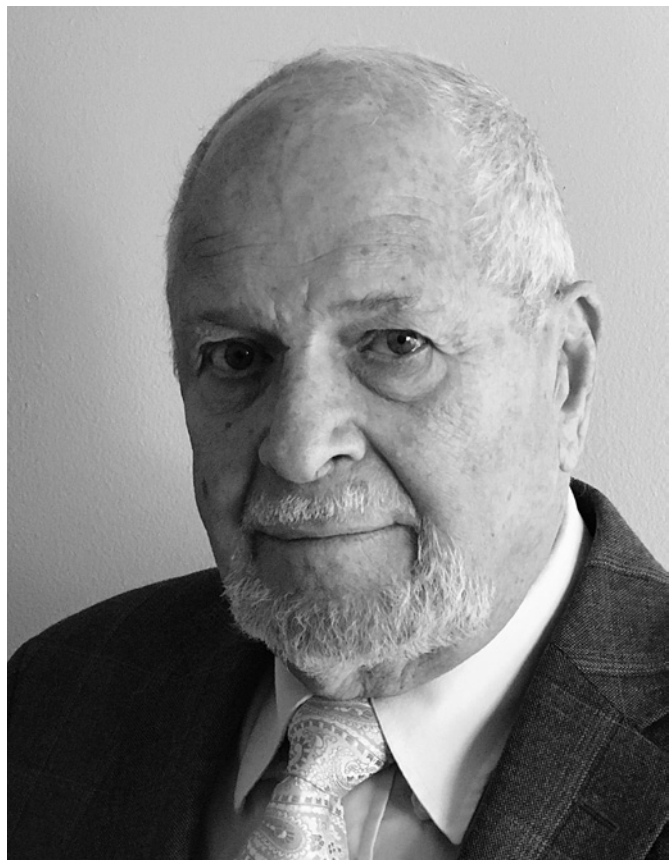
Entre la filosofía y la ingeniería.

El entrevistado cuenta que sin haber ingenieros en la familia, la presión de los padres y del medio, lo llevó a estudiar ingeniería. Un segundo interés para él era la filosofía, que en un principio desechó por imaginarse una vida llena de dificultades como profesor. Sin embargo, posteriormente mientras aun estudiaba ingeniería, entró simultáneamente a estudiar filosofía.

Al momento de elegir universidad, sus opciones eran dos, pero no tuvo dudas en elegir a la Universidad de Chile. Entre los ramos que más le gustaban y que le sirvieron en su desempeño profesional, estaban los de ciencias básicas, como física, química, matemáticas, álgebra lineal, análisis y también se interesó por la mecánica racional, ramo del cual luego fue profesor auxiliar. Mientras estaba todavía en la escuela de ingeniería, en cuarto año, ingresó al Instituto Pedagógico a estudiar Filosofía, carrera en la cual cursó todos los ramos, pero le faltó solamente obtener el título. Años después, siguió cultivando esa veta cuando estudió Neurobiología en la Facultad de Ciencias de la U. de Chile, con el destacado profesor Humberto Maturana, que combinaba la biología con la filosofía.

Entre los ingenieros que lo influenciaron en su formación, menciona a Gastón Pesse y a Enrique d´Etigny. Este último lo llamó, junto a otros ingenieros, para formar el Centro de Mecánica Aplicada, que después se convertiría en un Departamento de Mecánica. De esa época recuerda a Guillermo Miranda que había sido compañero de colegio, a Raúl Manasevich del Centro de Investigación Matemática y a Matías Turteltaub.

Su primer trabajo fue con ese grupo, haciendo modelaciones. Estuvo un año en ello y luego se fue a estudiar a Francia donde estuvo tres años. Hizo un curso de motores de Combustión Interna en el Instituto Francés del Petróleo. Después de obtener el título de ingeniero francés en el Instituto del Petróleo, entró al Laboratorio de Hidráulica del profesor André Fortier, y trabajó en un mecanismo de supresión de la turbulencia por empuje de Arquímedes. Finalmente se diplomó de Doctor Ingeniero. A su regreso, estuvo trabajando como director del Departamento de Mecánica en la Universidad de Chile. Después de un año se fue a INTEC, institución que se había formado recientemente, inicialmente a cargo de Joaquín Cordua. Ahí hizo investigación en reacciones químicas en lecho fluidizado. Después entró a trabajar a CADE- IDEPE donde se ha desempeñado hasta la actualidad.



Al hablar de su vida profesional, sus actividades y proyectos, prefiere ser modesto. No obstante, piensa que ha sido un referente en muchos temas asociados a la ingeniería.

Cuando había que inventar una manera nueva de hacer las cosas, de calcular o definir alguna norma, los miembros de la empresa recurrían a él en busca de ayuda. Y tenía facilidad para llevar a un lenguaje matemático diversos problemas. Algunos de los que más le han gustado son aquellos que nunca nadie había abordado. Como ejemplo menciona el diseño del colector del Zanjón la Aguada donde cada centímetro adicional de diámetro del ducto costaba mucha plata, ahí él preparó una memoria de cálculo con una onda de crecida, concepto poco utilizado en esa época en sistemas de alcantarillado.

Otros problemas de naturaleza parecida son los del golpe de ariete. Hoy existen programas comerciales de computación para resolverlos, pero en su tiempo los creó él; uno, con el método de las características, que es específico para ecuaciones de segundo grado a derivadas parciales; otro, con el método intrínseco, bastante más laborioso que el método de las características. Esos programas se usaron por mucho tiempo, hasta que aparecieron los programas envasados.

Otro trabajo importante que le tomó mucho tiempo fue hacer análisis de flexibilidad. Esto significaba calcular los esfuerzos y movimientos de una red de cañerías, especialmente de gran tamaño y que se expanden por ejemplo con la temperatura. Recuerda que fue el primer Programa de computación que escribió y fue usado durante muchos años.

En esta línea también recuerda un programa desarrollado para la fundición de Caletones a fines de los años 80, destinado a analizar el manejo de gases efluentes de distintos reactores de la fundición, haciendo las mezclas de las composiciones de las distintas fuentes para determinar las propiedades físicas, calcular el tiraje en ductos a distintas alturas y determinar finalmente la necesidad de impulsión mecánica y tamaños de chimeneas. Ese Programa se llamó Cale (tones) 3 y se ha seguido usando durante años.

Otra área que abrió para la empresa fue la de Medio Ambiente. Obtuvieron un proyecto con la Intendencia que era en ese momento la autoridad ambiental de Santiago y tenían un presupuesto relativamente importante para hacer el inventario de las emisiones y de las fuentes contaminantes en Santiago. Tenían que medir los factores de emisión de 40 chimeneas industriales diferentes, determinar varias fuentes distribuidas y sobre todo medir las emisiones de un conjunto de 450 vehículos compuesto por micros, autos y taxis. Para esto último había fondos para instalar un laboratorio. A nuestro entrevistado le correspondió ir a ver uno semejante en San Antonio, Texas y otro en París. Finalmente lo construyeron y se instalaron los equipos. Para probar autos y taxis adoptaron una marcha tipo desarrollada por la EPA. La marcha tipo significaba que las pruebas de emisión se hacen con aceleraciones y frenadas contra una rueda de inercia de tamaño apropiado al peso del vehículo, para que se parezca al funcionamiento del vehículo en la ciudad. Para los buses no existía nada que les diera confianza por su semejanza con el manejo de las legendarias "micros amarillos" y para ellas desarrollaron el llamado ciclo de marcha para Santiago. Instalaron computadores como data loggers y un captor magnético de rotación en el cardán de transmisión en las micros. Los computadores los instalaba un ingeniero todas las madrugadas a las 4.30 y los retiraban en las noches. Con esto determinaban el ciclo de marcha, y después en el laboratorio conseguían algunas micros para hacer las pruebas.

Alejandro Steiner tiene muchas historias como las señaladas, una lista de proyectos que en algún momento resultaron muy originales, potentes e innovadores. Además, durante mucho tiempo trabajó para mejorar la calidad de las personas, mediante entrevistar y eventualmente aprobar la contratación de los recién egresados que entraban a la empresa. Además, se ocupaba de su desarrollo, haciendo cursos internos muy importantes con profesores del staff de ingenieros de la empresa o con profesores de la Universidad de Chile. Recuerda que uno de estos cursos, sobre corrosión, tenía un diploma final que daba la propia Universidad. Además, envió a algunos ingenieros a estudiar al extranjero.

Pasando a otros temas, el entrevistado nos cuenta que habla varios idiomas, dominando entre ellos el francés. También estudió violín, que dejó por falta de paciencia y entre las cosas que recuerda con alegría, es el haber participado en el Centro de Estudios Humanísticos en la Escuela de Ingeniería, donde estuvo un año en la lectura en común de una de las más importantes obras del filósofo alemán Hegel: La fenomenología del espíritu. Además, en esa línea, tradujo junto a otras personas un libro de un filósofo norteamericano, Hubert Dreyfus, sobre Heidegger, volviendo de este modo a su segunda pasión, la filosofía.

De su vida personal nos cuenta que sus tres hijas tienen nombres que empiezan con V: Viviana, Valeria y Verónica. En su juventud, recuerda haber sido campeón de natación hasta que sufrió un accidente grave. Al llegar al final de la entrevista desea agregar algo, piensa que una parte importante de los ingenieros jóvenes no están comprometidos ni con la institución en la que trabajan, ni con el país. Se refiere a los millennials, que, según su parecer, no comprenden la trascendencia social del trabajo que puede realizar un ingeniero. Recuerda el mensaje que les dio a los jóvenes en una charla que hizo en la Universidad Católica. Les dijo: "tiene que gustarles lo que hacen, o si no búsquense otra cosa. Si lo hacen con pasión, partan a servir en algún lugar, como un beneficio social." En ese instante, sintió que el mensaje no estaba llegando a destino.

MARÍA OFELIA MORONI.

La eficiencia, uno de los rasgos más importantes de su personalidad.

En mi época una elegía estudiar ingeniería, por lo general, porque le gustaban las matemáticas. En mi caso, tenía dos tíos maternos que eran ingenieros, me gustaban las matemáticas y mis padres eran profesionales, en una época en la que no todos los padres lo eran, por lo que no existía ninguna duda de que iba a ingresar a la universidad, y como toda mi familia había estudiado en la Universidad de Chile, esta era la Universidad en la que lo haría.

Entré a Ingeniería en el año 1968 y el 5% de los estudiantes éramos mujeres, a pesar de ello, yo me sentía muy cómoda en la Facultad debido a que venía de un colegio mixto y muchos de mis compañeros de colegio ingresaron a estudiar conmigo, por lo que no sentí mucha diferencia en la transición del colegio a la universidad, tampoco noté ningún tipo de discriminación.

Al terminar mis estudios, trabajé primero cuatro años en IEC Ingenieros y me casé con mi compañero de curso Sergio Jara, y cuando nació mi primer hijo, entré a trabajar en la Universidad de Chile, lugar en el que me quedé por 44 años. Actualmente tengo dos hijos, ambos ingenieros civiles matemáticos de la Universidad de Chile. Uno se doctoró en el Programa de cotutela de la Universidad de Chile-Francia y trabaja en el Departamento de Economía de la Universidad de Santiago y el otro acaba de terminar su especialización en Optimización en la Northwestern University.

Si bien reconozco que nunca tuve muchas capacidades ni paciencia para enseñar, el ambiente que había en la Facultad, en ese momento, era muy bueno ya que además de tener estabilidad económica, podíamos hablar libremente y oponernos sin temor a la dictadura.

En el ámbito de la investigación, desarrollamos proyectos muy interesantes con Mauricio Sarrazin: construimos un edificio aislado de 4 pisos en calle Pedro Lagos, que instrumentamos con acelerómetros y que después de 20 años, para el terremoto del 2010 fue el único edificio aislado que tuvo un registro sísmico; el que existe hasta el día de hoy. Además, fuimos capaces de comparar la respuesta de este edificio con la de uno similar, pero con fundaciones convencionales. Este fue un esfuerzo muy importante para impulsar el uso de aislación sísmica en edificios. Luego seguimos en esa línea con el puente Marga Marga, que también fue el primero que se hizo con aisladores sísmicos. Ese puente se instrumentó y se han estado registrando aceleraciones. También participamos en el monitoreo del Puente Amolanas, que tiene aisladores friccionales y amortiguadores tipo Taylor en los estribos.

Otro aporte que me interesa destacar es la publicación del libro "Mw=8.8, Terremoto en Chile" que hicimos como Departamento de Ingeniería Civil el 2012, con la investigación que se hizo sobre el terremoto del 27/2/2010, emulando con ello el trabajo realizado por Joaquín Monge para el sismo de marzo del 85 publicando el libro "El sismo del 3 de marzo de 1985-Chile".

En otro ámbito, en el año 2010 formamos un grupo con mujeres académicas y empezamos a pelear por recuperar la sala cuna que se creó junto con el jardín infantil de ingeniería a comienzo de los 70 y que fue cerrada a principio de los 90. Recién el año pasado se reinauguró la sala cuna, gracias a un convenio de la Junji con Casa Central de la Chile, en calle Domeyko, en un edificio nuevo.

En el año 2014 jubilé, y me he dedicado desde entonces a realizar diferentes actividades no remuneradas. Es así como integré el Comité Organizador de la Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica, evento de gran relevancia para la ingeniería

global que se efectuó en Santiago en enero del año 2017 y que se realiza por segunda vez en su historia en Chile.

En los últimos años de mi estadía en la universidad, viví el gran cambio que se produjo en los alumnos debido a la tecnología. Hoy su comportamiento es muy diferente, en parte, porque la educación en Chile se deterioró de manera importante durante la dictadura y además, debido a que la educación es percibida hoy como un bien y los alumnos creen que al pagar tienen derecho a obtener un título sin mucho esfuerzo, tal como se paga por un bien de consumo. Esta situación se presenta también en la Facultad con académicos más jóvenes. Ellos tampoco se entienden bien con los estudiantes, a pesar de que tienen menos años de diferencia con ellos.

En los últimos años he observado el movimiento feminista contra la discriminación y he sido algo escéptica en la pelea de las jóvenes. Si bien efectivamente, existen problemas de acoso sexual y laboral, la situación que se presenta hoy, la atribuyo más al marco político y social, al no existir, como en mi época, enemigos mucho más grandes contra los cuales pelear. Además, gran parte de la discriminación proviene de las religiones y del sistema capitalista imperante. En las religiones, el rol de la mujer no está a la altura de estos tiempos y el sistema capitalista imperante exige trabajar para consumir. Es necesario resolver previamente ambos problemas para que la gente pueda ser más feliz. Considero necesario realizar un cambio en la forma de trabajar, más que enfrascarse en una pelea de las mujeres en contra de los hombres ya que si ésta va a ser para asumir el mismo rol de poder del hombre, la situación no va a cambiar.

Cada 5 o 10 años, se propone una reforma al Plan Docente, en la que se busca, entre otros objetivos, acortar la duración de la carrera. En el Departamento de Ingeniería Estructural hemos sido muy reacios a modificar la duración de la carrera e incluir otros ramos en la malla curricular ya que esto significa, por una parte, eliminar cursos de ciencias básicas y de especialidad y por otra, incluir ramos de formación en áreas relacionadas con habilidades blandas. Creo que esto es un error, ya que a diferencia de los que ocurre en USA, en que la carrera dura 4 años, pero el ingeniero no está habilitado para ejercer; en Chile, un ingeniero puede ejercer su profesión luego de terminar sus estudios.

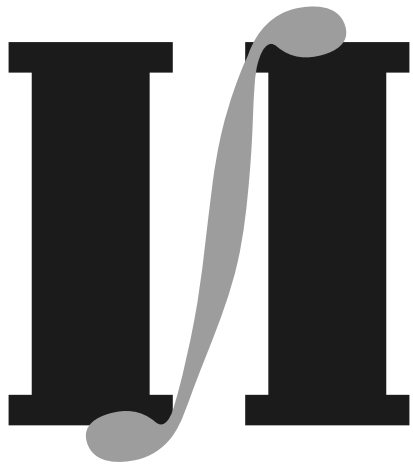
Creo que hay que incorporar la sustentabilidad en el desarrollo de cualquier proyecto. La ciudadanía está hoy cada vez más empoderada y no acepta que existan zonas de “sacrificio”.

En relación con la ética profesional, es necesario predicar con el ejemplo, demostrando que se es una persona que adquiere compromisos y los cumple. Me parece difícil enseñarla a nivel universitario, ya que, al llegar a la educación terciaria, los alumnos tienen ya sus valores formados, por ello, lo que corresponde es demostrar, a través del ejemplo, lo que es la ética.

Echo de menos una voz más fuerte de los ingenieros en las grandes obras de ingeniería que han tenido problemas en su ejecución, como es el caso del puente Cau Cau, conocido por toda la población o el Viaducto Treng Treng Kay Kay, en Padre las Casas, suspendido en el año 2017. La comunidad de ingenieros sabía que ambos proyectos tendrían problemas, pero nadie se atrevió a levantar la voz.

Considero que la computación ha tomado demasiado poder. Antiguamente, a partir del conocimiento que teníamos de una materia, desarrollábamos un programa que resolviera de forma más rápida un problema y hoy en día, sin necesariamente conocer la materia específica, los estudiantes e ingenieros utilizan programas y obtienen resultados que les pueden significar cometer errores en los diseños.

ISSN 0716 - 2340



ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Vol. 131, N° 1 - ABRIL 2019

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

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

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

Anales del Instituto de Ingenieros
Vol. 131, N° 1, abril de 2019.

Contenido

BIOFILTRATION OF BENZO[α]PYRENE, TOLUENE AND FORMALDEHYDE IN AIR BY A MICROBIAL CONSORTIUM. Pág. 1
Alberto Vergara-Fernández, Paulina Morales, Felipe Scott, Germán Aroca y Patricio Moreno-Casas.

¿QUÉ HACER CON LAS AGUAS LLUVIAS? Pág. 17
Rodrigo Caro Cordero.

MODELACIÓN NUMÉRICA 3D COMO APOYO AL DISEÑO DE CONTRACCIONES EN CANALES DE FLUJO SUPERCRÍTICO. Pág. 29
Maximiliano Martínez y Yarko Niño.

Editor
Raúl Uribe Sawada, Instituto de Ingenieros de Chile.

Comité Editorial
Rodolfo Saragoni H., Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA)
Alexander Chechilnitzky Z., Asociación Interamericana de Ingeniería (AIDIS)
José Vargas B., Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (SOCHID)
Daniela Pollak A., Sociedad Chilena de Geotecnia (SOCHIGE)
Juan Carlos Herrera M., Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte (SOCHITRAN)
Alonso Barraza San M., PMI Santiago Chile Chapter (PMI, Capítulo Chileno)
Mario Letelier S., Sociedad Chilena de Educación en Ingeniería (SOCHEDI)

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

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

BIOFILTRATION OF BENZO[α]PYRENE, TOLUENE AND FORMALDEHYDE IN AIR BY A MICROBIAL CONSORTIUM

Alberto Vergara-Fernández[1]*, Paulina Morales[1], Felipe Scott[1], Germán Aroca[2], Patricio Moreno-Casas[1]

Abstract

Volatile organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are air contaminants with serious effects on human health. They include compounds with very different physicochemical properties, ranging from low to high volatility and low to high hydrophobicity. In this study, a biofiltration reactor inoculated with the fungi Fusarium solani and the bacteria Rhodococcus erythropolis was used to treat air contaminated with formaldehyde, a soluble and slightly polar VOC, toluene a hydrophobic and volatile VOC and benzo[α]pyrene (BaP), a representative PAH. Results obtained at an extended range of inlet loads: 3,7 to 447,7; 9,0 to 273,1 and 6,9 to 247,4 g m^{-3} h^{-1} of toluene, formaldehyde and BaP, respectively, show that the elimination capacity and removal efficiencies of the contaminants were largely independent of each other. Moreover, the system is capable of accommodating a fivefold increase in inlet gas flow maintaining removal efficiencies close to 60% for all the contaminants tested when the inlet loads of contaminants were kept constant. The most dramatic decrease in elimination capacity and removal efficiency in the system was obtained by changing the temperature of the system, a decrease from 25°C to 17°C reduced the formaldehyde removal efficiency from 67% to 43%. BaP and toluene removal efficiencies were less affected by the decrease in system's temperature. This study shows the high flexibility of a biofiltration system inoculated with F. solani and R. erythropolis for the abatement of toluene, formaldehyde and BaP. This paper was published in the international Chemical Engineering Journal (ref. [1]).

[1] Green Technology Research Group, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de los Andes, Chile.
[2] Escuela de Ingeniería Bioquímica, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

*Corresponding author: A. Vergara-Fernández. Tel.+ 562 2618 1441. E-mail: aovergara@miuandes.cl.

Introduction

Air pollution is a health concern worldwide. The Global Burden of Disease 2015 report [2], a study where the health impacts of air pollution were quantified for 188 countries during the period 1990-2015, reveals that in 2015 there were 4,2 million deaths attributable to outdoor fine particulate matter and an additional 254.000 deaths from exposure to ozone. Furthermore, indoor exposure to household air pollution from the use of biomass and other solid fuels for cooking and heating was responsible for another 2,8 million deaths. Thereby, air pollution caused more than 6,4 million deaths worldwide, being the 5th highest-ranking factor for death in the planet. Particulate material is often accompanied by volatile organic compounds (VOCs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) [3]. VOCs comprise an important group of chemicals that evaporate easily at room temperature, and are commonly present in indoor and outdoor air [4]. VOCs are emitted from industrial sources, such as petroleum refineries and chemical plants [5], commercial activities, such as gasoline refilling [6]; and at the residential level, wood and fossil fuels burning for heating and cooking [7] and products used indoor like aerosols, paints and cleaners [8]. Formaldehyde and toluene are the VOC most known to the public. Toluene is present in many consumer products, including household aerosols, paints, varnishes, adhesives, and glues, and is also associated with incomplete combustion and evaporation of fuels, stationary sources such as industrial surface coating and solvent use, gas stations, power plants and refineries [6,9,10]. As for formaldehyde, its sources include combustion processes as well [11], but can also be found in construction materials such as particleboard, fiberboard, and plywood [8].

On the other hand, PAHs are a large group of chemicals with two or more fused aromatic rings in linear, angular or clustered arrangements [12]. PAHs are characterized by chemical stability, low volatility and low solubility in water [13]. The presence of PAHs in indoor and outdoor environments is mainly due to the incomplete combustion of wood and other fuels used for residential heating, tobacco smoke and cooking gases [14]. In Chile, the use of wood for residential heating in the central and south regions creates episodes of contamination during winter time characterized by high concentrations of particulate material, VOCs and PAHs [14]. These pollutants are toxic to humans, may cause short and long-term adverse health effects and are recognized to display carcinogenic activity [15]. In particular, benzo[α]pyrene (BaP), has been used as a marker for carcinogenic levels of PAHs in environmental studies [16,17].

Despite the abundance of evidence linking the exposure to VOCs and PAHs in indoor air with various health effects, only a few reports evaluating the existing abatement technologies are currently available. Biological treatment techniques for VOC have gained popularity in view of the several advantages they offer in comparison to traditional physical and chemical removal methods. Biological waste air treatment processes are not only more cost effective than conventional techniques, such as incineration or adsorption, but are also environment friendly [18,19]. Several studies have demonstrated that either formaldehyde or toluene may be effectively removed from air using biofilters [20–24]. While biofiltration of mixtures of benzene, toluene ethylbenzene and xylene (BTEX) have been extensively studied since they mimic the composition of gasoline vapors. There are no recent reports on the simultaneous biofiltration of formaldehyde and toluene, despite they constitute an interesting challenge since their hydrophobicity and miscibility in water greatly differ. Although BaP degradation, has been extensively studied using bioremediation catalyzed by fungi, bacteria and a consortium of both for soil treatment [13,25–28], there are no previous studies on the removal of BaP from air using biofiltration systems.

Recently, it has been reported in the literature that that a consortium of the fungus *Fusarium solani* and the bacteria *Rhodococcus erythropolis* was able to degrade toluene, formaldehyde and BaP as the sole carbon source in microcosms

experiments [29]. While formaldehyde is highly soluble in water as evidenced by its partition coefficients values in water and in wet biomass, toluene is a hydrophobic compound [29]. The low solubility of hydrophobic VOCs in bacterial biofilms, hinders its mass transfer from the stream of polluted air to the biomass where degradation occurs [30]. To overcome this limitation, the use of filamentous fungi as biocatalyst in packed beds has been proposed and shown to increase mass transfer and degradation for *n*-hexane, *n*-pentane and methane [31–33]. In this context, it was shown that when *F. solani* is grown in *n*-pentane the aerial biomass fraction represented only 25,9% on a dry weight basis, however it was responsible for 71,6 of *n*-pentane removal [34]. As a continuation of the investigation in the degradation of hydrophobic and hydrophilic VOCs and BaP [29,34], in this work we report, for the first time in the literature, on the feasibility of using a fungi-bacteria consortium of *F. solani* and *R. erythropolis* in a biofiltration system for the treatment of air contaminated with formaldehyde, toluene and BaP, and on the determination of its performance under a series of experimental conditions.

Materials and methods

Microorganisms maintenance and inoculum preparation

The microorganisms used in this study are the fungi *Fusarium solani* B1 and the bacteria *Rhodococcus erythropolis*, obtained from the German Collection of Microorganisms and Cell Cultures (DSMZ, Germany). Propagation and inoculum preparation was performed as described in Morales et al. [29].

Biofilter fungal/bacterial description

A biofilter was set up with a column of polyvinyl chloride (PVC) with 105 cm in height and 7,9 cm in diameter, separated into three stages of equal length stages. Each stage was filled with 82 g of vermiculite (bed porosity of 69%). The column has a sampling port at the bottom and at the top of the reactor, for sample withdrawal of the inlet and exit gas flow streams, respectively, and three equidistant sampling ports through the packed support. Moisture of the solid support and the pressure drop of each stage of the biofilter were determined with a ProCheck sensor read-out device (Decagon Devices, Pulman, WA) and differential pressure manometer (Extech Instruments Corporation, Waltham, Massachusetts, USA), respectively. The moisture in the biofilter inlet and outlet air was measured with a thermos-hygrometer (Testo 625, Testo AG).

Gas inlet flow was obtained through an air compressor divided into two streams, one stream flows to a humidifier and another stream to the solutions of toluene and formaldehyde. The humidifying equipment consists of a PVC column, 8 cm in diameter and 40 cm high, filled with water to 20 cm; the air was bubbled through the column to incorporate humidity. Gaseous BaP was generated by the combustion of biomass pellet in a muffle furnace at 180°C. A gas chamber was used to mix the streams of toluene, formaldehyde and BaP. The flow of all gases was controlled with needle valves and rotameters. Gas outlet stream from the mixing chamber was joined to the humidified air stream and then conducted to the bottom part of the biofilter. A rotameter at the outlet of the biofilter records the flow of treated contaminated air. A diagram of the experimental system is shown in Figure 1.

Biofilter set-up

F. solani and *R. erytrhopolis* were used to inoculate the solid support. They were inoculated with a mixture of 500 mL of a culture of bacteria in complex medium and 500 mL of fungi in mineral medium. The cell concentration to inoculate the support were of 9 g L^{-1} and 24gL^{-1} for bacteria and fungi, respectively. The cell suspension of fungi and bacteria was mixed with 400 mL of mineral medium and was recirculated through the packed column filled with the support to allow the attachment of the microorganisms for 7 days.

After the biofilter was inoculated with *F. solani* and *R. erythropolis*, the contaminated air was fed to the reactor for 30 days, gradually increasing the input concentration of toluene, formaldehyde and BaP from 1 to 2 g m^{-3}; 1 to 4 g m^{-3} and 10 to 20 g m^{-3}, respectively.

Biofilter experiments

To determine the influence of the inlet load on the elimination capacity, different concentrations of each compound (toluene, formaldehyde and BaP) were fed into the column in a mixture with air, using an empty bed resident time (EBRT) of 154 s and different concentrations. Other experiments were performed by changing one operational variable at a time.

Influence of the EBRT on the removal capacity at constant inlet load.

The removal capacity was determined for different EBRT: 30, 45, 60, 90, 120 and 154 s. The inlet loads were fixed to 33,5±0,7 g m^{-3} h^{-1} for toluene and 34,8±2,3 g m^{-3} h^{-1} for formaldehyde. BaP inlet loads of 150 to 420 g m^{-3} h^{-1} were applied. All the experiments were performed at 21 ºC.

Influence of the temperature on the removal capacity at constant EBRT

The effect of temperature on the removal efficiency of pollutants was studied using an EBRT of 154 s and three different temperatures: 17, 21 and 25 °C, so that can be compared with already published results by our group [29]. Inlet concentrations were of 0,98±0,01 g m^{-3}, 0,99±0,01 g m^{-3} and 4,56±2,52 g m^{-3} for toluene, formaldehyde and BaP, respectively.

In all the experiments, mineral medium was circulated through the column by spraying it to the top of the column. Every day during the startup phase, and every three days during operation, 75 mL of the mineral medium was replaced by fresh solution, according to Vergara-Fernández et al. [35]. The elimination capacity for each compound was determined when the biofilter was at steady state, verified when the change in the removal efficiency was less than 10% at a given load. The results from the continuous toluene, formaldehyde and BaP removal experiments were expressed in terms of elimination capacity (EC, g m^{-3} h^{-1}), inlet load (IL, g m^{-3} h^{-1}), removal efficiency (RE, %) and stage-wise removal capacity of stage *i* ($SFEC_i$) according to:

$$EBRT = \frac{Q}{V_r} \quad (1)$$

$$EC = \frac{Q}{V_r}\left(C_{AG0} - C_{AG(out)}\right) \quad (2)$$

$$IL = \frac{Q}{V_r}\left(C_{AG0}\right) \quad (3)$$

$$RE = \frac{\left(C_{AG0} - C_{AG(out)}\right)}{C_{AG0}} \times 100 \quad (4)$$

$$SFEC_i = \frac{EC_i}{EC_{total}} \cdot 100 \quad (5)$$

Where Q and V_r represent the polluted air flow (m^3 h^{-1}) and bioreactor volume (m^3), respectively, C_{AG0} and $C_{AG(out)}$ the inlet and outlet compound concentrations (g m^{-3}), respectively.

Analytical methods

All concentration measurements, including those of the gas phase and biomass, were performed in triplicate. The concentration of gaseous contaminants and products (toluene, formaldehyde and BaP) in the gas samples withdrawn from the reactor were determined as reported in our previous work [29].

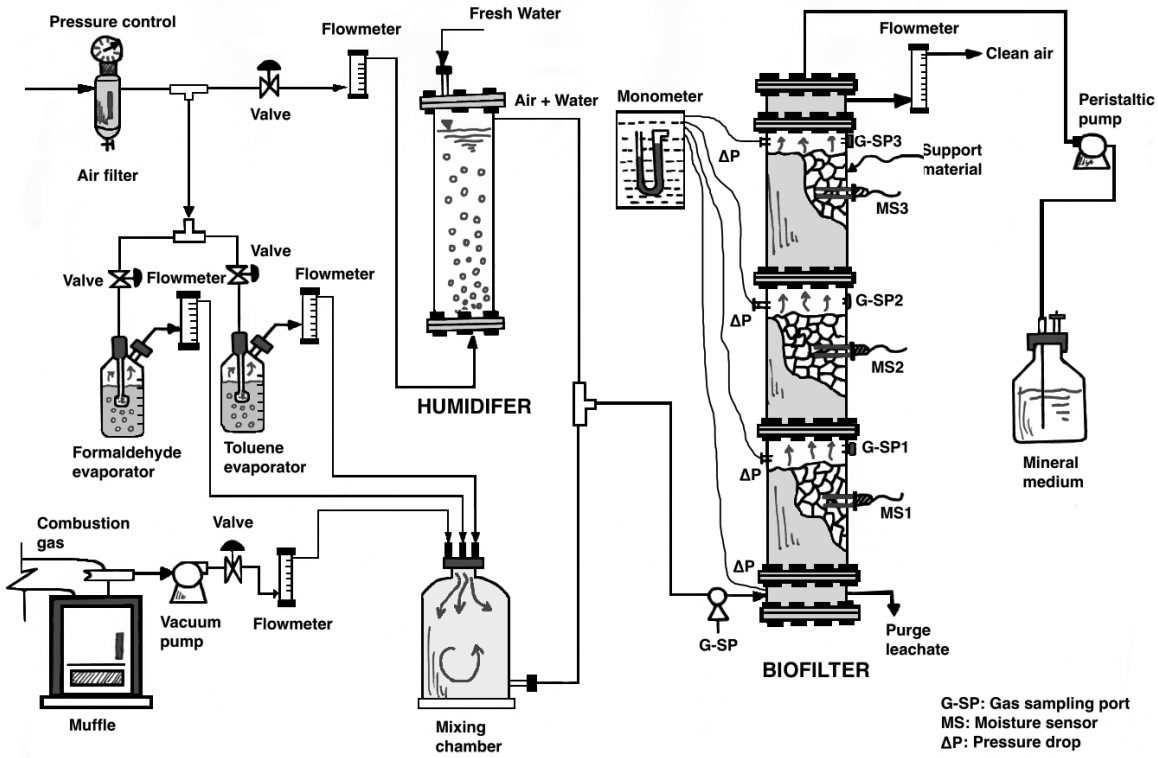


Figure 1. Schematic of the laboratory-scale experimental biofilter

Results and discussion

Biofilter start-up

Prior to the star-up phase, the column was packed with vermiculite with 60% of average moisture. In this study, proper control of the moisture content was essential to avoid microbial deactivation. Moisture content was maintained above 60% by the addition of the mineral medium.

The biofilter was operated at 21°C applying an EBRT of 154 s during the start-up period. A steady-state was reached in 21, 25 and 27 days for toluene, formaldehyde and BaP respectively when the input concentration of these pollutants was increased from 1 to 2 g m^{-3}; 1 to 4 g m^{-3} and 10 to 20 g m^{-3}. The elimination capacity at steady state for toluene reached 26,1±1,3 g m^{-3} h^{-1} (Figure 2b), 92,1±1,2 g m^{-3} h^{-1} for formaldehyde (Figure 2a) and 320,8±16,0 g m^{-3} h^{-1} for BaP (Figure 2c). Removal efficiencies in the steady state were higher than 80% for formaldehyde, nearly 100% for toluene and close to 80% for BaP.

The stage-wise removal capacity was followed during the startup phase (Figure 2d-f) by measuring the outlet concentration of toluene, formaldehyde and BaP in the flow exiting each stage. Results show that, during the last 3 days in the steady state, the $SFEC_1$ was 0,83±0,01 for formaldehyde, 0,54±0,02 and 0,42±0,11 for BaP. Therefore, formaldehyde was chiefly degraded in the first stage of the biofilter (the stage receiving the inlet flow), while toluene is chiefly degraded in stages 1 and 2, and BaP is degraded more evenly. The distribution of SFEC can be attributed to the characteristics of the pollutants and its concentrations. Formaldehyde, having a low wet-biomass partition coefficient [29] for the

same species used in this work and being easily degradable, is consumed in the first stage of the biofilter. On the other hand, toluene, with a higher wet-biomass partition coefficient and thus more hydrophobic [29], is completely degraded in stages 1 and 2, showing negligible $SFEC_3$. BaP biodegradation occurs in the three stages of the biofilter since it shows a similar partition coefficient with toluene [29], but is fed at a higher IL. Similar results were reported by Khammar et al. [36], where a mixture of hydrophilic oxygenated compounds (including methanol, ethyl acetate and acetone), aromatic compounds (including toluene and ethylbenzene) and halogenated compounds were treated in a biofilter at an inlet concentration of 50 mg m^{-3} per compound. Authors reported that the hydrophilic oxygenated compounds were completely degraded in the first half of the biofilter length, while 20% and 50% of the aromatic compounds were degraded in the first and second third of the reactor (always counting from the gas inlet point).

After 30 days of biofilter startup, the study of inlet load effect on elimination capacity was initiated.

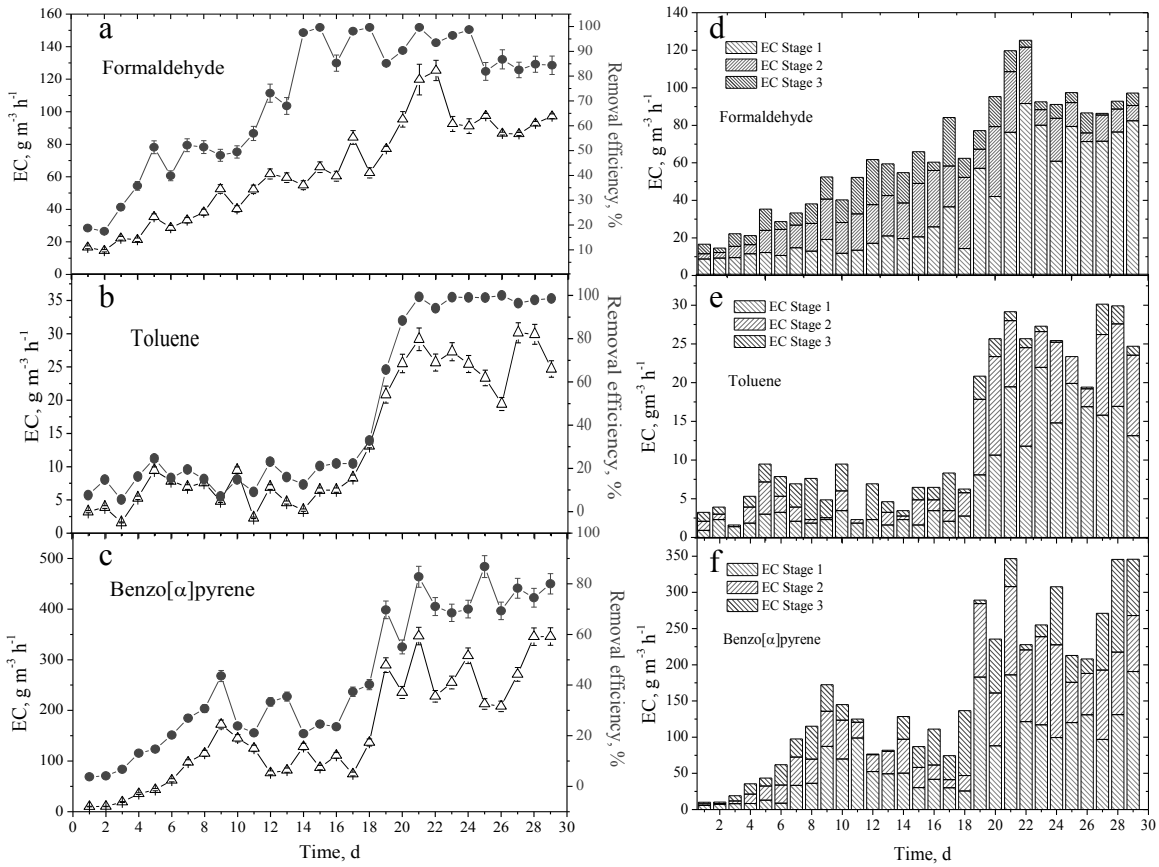


Figure 2. Removal capacity (open triangle) and removal efficiency (dark circle) during the startup phase for formaldehyde (a), toluene (b) and benzo[α]pyrene (c) at 21 ºC. Panels d-f show the evolution of the removal capacity of each contaminant for every stage (1 to 3) during the startup period.

Influence of the input load on the elimination capacity

Figure 3a shows the influence of the toluene inlet load on the removal capacity of toluene, formaldehyde and BaP. This experiment was performed immediately after the startup phase by increasing the toluene inlet concentration from 0,16 to 19,3 g m^{-3} with a constant background of 0,7±0,1 g m^{-3} of formaldehyde (IL: 16,3±2,3 g m^{-3} h^{-1}) and 9,3 ±1,0 g m^{-3} of BaP (IL: 215,3±23,2 g m^{-3} h^{-1}). After each concentration increment, a new steady state was reached and the concentrations of toluene, formaldehyde and BaP were measured to calculate REs and ECs. Removal efficiencies in excess of 97% were obtained for toluene inlet loads lower than 84,4 g m^{-3} h^{-1}. The removal efficiency decreased to 91% at an inlet load of 133 g m^{-3} h^{-1} and to 60% at 447 g m^{-3} h^{-1}, where the EC reaches a plateau of 268,3±16,1 g m^{-3} h^{-1}. Zamir et al. [37] with an initial concentration of 0,17 g m^{-3} of toluene (as a single contaminant) and an EBRT of 16 s (IL of 38,3 g m^{-3} h^{-1}), obtained a slightly lower RE (90%) using compost as support. Likewise, Pineda et al. [38] reported that using a mixed culture of bacteria and yeast at toluene inlet loads of 0 to 84 g m^{-3} h^{-1}, EC values between 0 and 17 g m^{-3} h^{-1} were found with REs of 20 to 80% for an EBRT of 150 s. Finally, Cox and Deshusses [39], using a bacteria-protozoan consortium reported a maximum EC of 83 g m^{-3} h^{-1} with an EBRT of 56 s and an RE of 55,3% at a toluene IL equal to 150 g m^{-3} h^{-1}. Our results show a higher maximum EC and REs at comparable ILs, however, Cox and Deshusses used a shorted EBRT, thus making the comparison not completely fair. Moreover, neither of these reports address the simultaneous removal of toluene and other VOCs or PAHs.

Formaldehyde and BaP ECs were constant at 13,8±0,65 g m^{-3} h^{-1} for formaldehyde and 148,6±6,0 g m^{-3} h^{-1} for BaP for toluene IL in the 0 to 303,5 g m^{-3} h^{-1} range. A slight decrease in formaldehyde EC was observed for toluene IL above 392 g m^{-3} h^{-1} reaching an EC of 10,6±0,42 g m^{-3} h^{-1} at a toluene IL of 447,7 g m^{-3} h^{-1}. On the other hand, BaP EC remained constant. Similarly, for inlet loads of toluene in a range of 3,7 to 303,5 g m^{-3} h^{-1}, an average formaldehyde RE of 84,9±4,0 % was obtained, while at toluene inlet loads higher than 393 g m^{-3} h^{-1}, formaldehyde EC decreased to 65,1±2,6 %. BaP removal efficiency remained constant at 69±6,0 %, this considering an average BaP inlet load of 215,3 g m^{-3} h^{-1}.

Figure 3b shows the contribution of each stage in the biofilter towards the degradation of toluene. At the beginning of the experiment, $SFEC_1$ and $SFEC_2$ were equal to 63% and 31% respectively, values consistent with the end of the startup period (Figure 2e). As shown in Figure 3b, the value of EC for the first stage peaks at an IL of 303,5 g m^{-3} h^{-1} and then decreases to represent only an $SFEC_1$ of 8%. On the contrary, the ECs of the second and third stages rise with the increase in toluene IL, representing 62% and 30% respectively at the highest IL value.

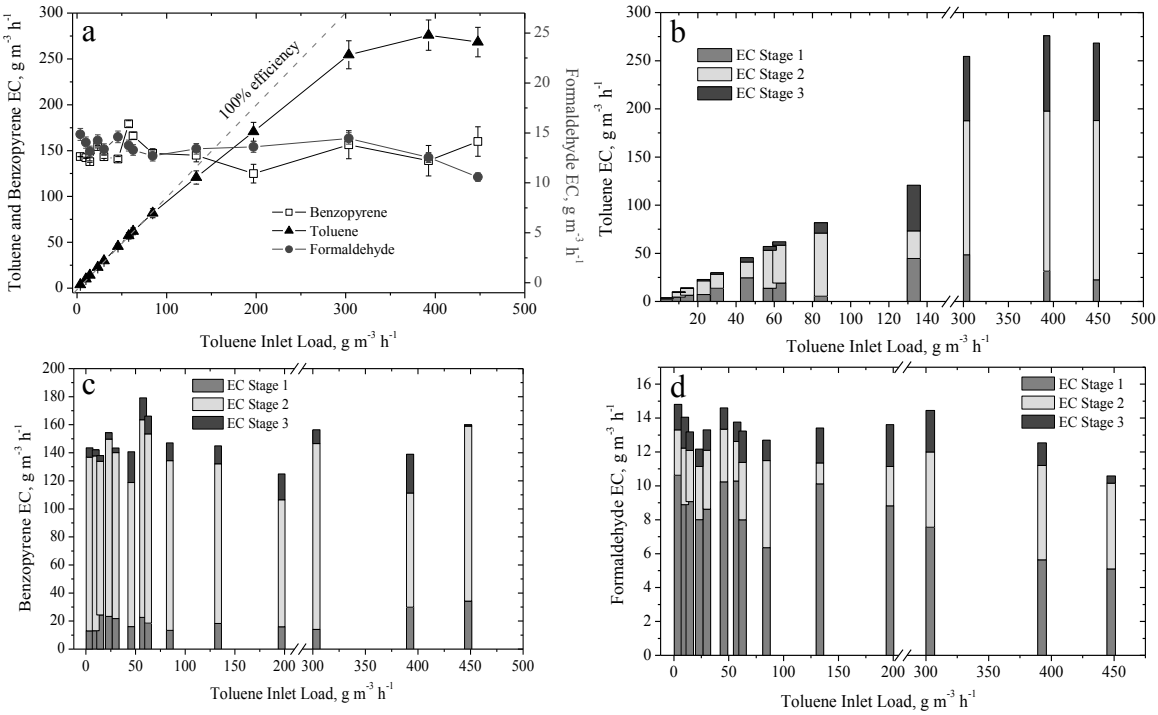


Figure 3. Removal capacity of toluene, formaldehyde and benzo[α]pyrene for different inlet loads of toluene (panel a). Panels b, c and d show the elimination capacity for each stage of the biofilter for toluene, BaP and formaldehyde, respectively. All experiments were performed at an EBRT of 154 s.

Figure 4a presents the elimination capacity of formaldehyde, toluene and BaP at different formaldehyde IL (concentrations of 0,4-11,8 g m^{-3} corresponding to ILs of 9,1 to 273,1 g m^{-3} h^{-1}) at an EBRT of 154 s. The formaldehyde EC increased from 7,5±0,4 g m^{-3} h^{-1} at an IL of 9,1 m^{-3} h^{-1} to a plateau of 103,8±6,3 g m^{-3} h^{-1} at ILs above 153,5 g m^{-3} h^{-1}. Removal efficiencies were on average 75,9±4,4 % for ILs in the 9,1 to 153,5 g m^{-3} h^{-1} range, decreasing to 39,0±2,4 % at the highest formaldehyde IL assayed. The aforementioned EC values are higher compared to those reported in the literature for similar biofiltration systems. In this regard, Prado et al. [40] using aerobic sludge as biocatalyst and lava rock as support, reported a removal efficiency of 60% at formaldehyde ILs between 10 and 25 g m^{-3} h^{-1} with an EBRT of 91 s. On the other hand, Maldonado-Diaz and Arriaga, [24] working in formaldehyde abatement with ozone additions obtained for an EBRT of 72 s and input load of 28 and 40 g m^{-3} h^{-1}, a maximum EC of 25,6 g m^{-3} h^{-1} and removals efficiencies of 96% and 80%, respectively.

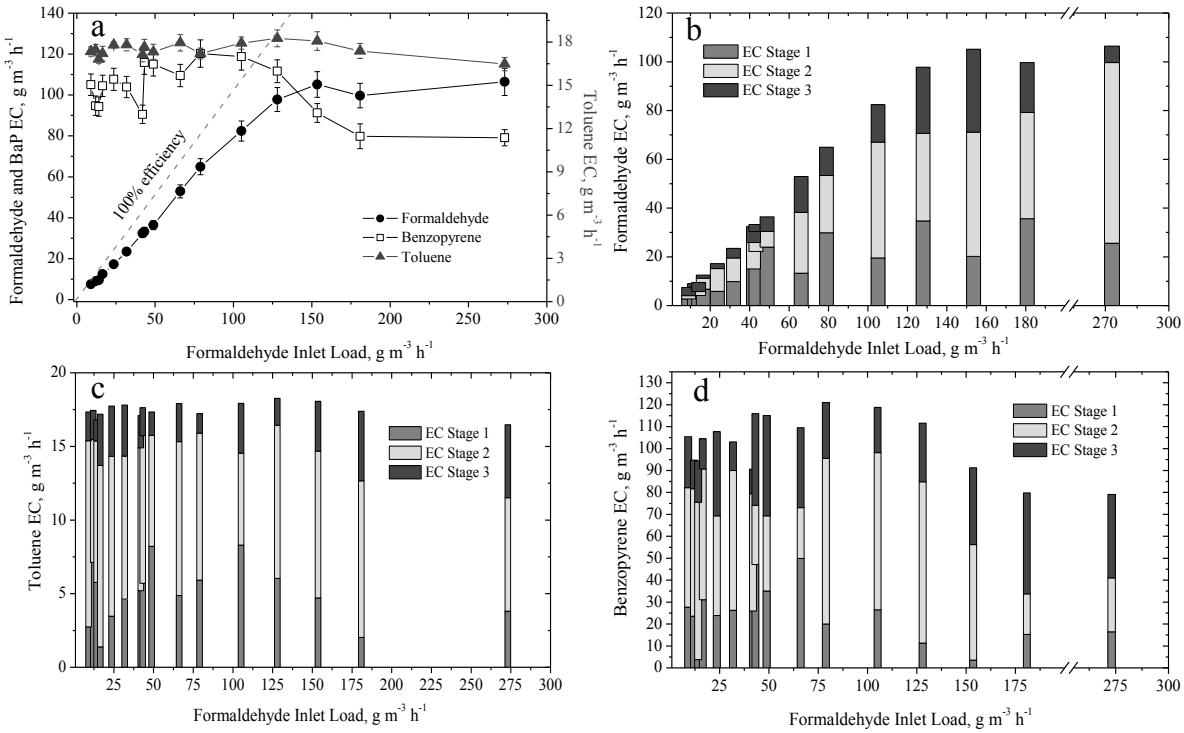


Figure 4. Removal capacity of formaldehyde, toluene and benzo[α]pyrene at different inlet loads of formaldehyde (panel a). Panels b, c and d show the elimination capacity for each stage of the biofilter for formaldehyde, toluene and BaP, respectively. All experiments were performed at an EBRT of 154 s.

Toluene removal efficiency was maintained in 94,1±2,6 % for a toluene inlet concentration of 0,8±0,1 g m^{-3} with simultaneous feeding of BaP (6,0±1,0 g m^{-3}) and formaldehyde at inlet loads between 9,1 and 273,1 g m^{-3} h^{-1}. On the other hand, BaP removal efficiency decreased from an average value of 76,8±6,8% at ILs of 9,1 to 97,8 g m^{-3} h^{-1}, to 56,8±2,8% for a formaldehyde IL equal to 273,1 g m^{-3} h^{-1}.

Figure 4b shows that the trend obtained for the EC at each stage for increasing formaldehyde ILs was similar to the one found for increasing toluene ILs. As formaldehyde concentration in the fed stream increases at constant EBRT, the first stage EC reaches a plateau, then the elimination capacity of the second stage rises. In fact, our results show that at the highest formaldehyde inlet load, the $SFEC_1$ was 24% while $SFEC_2$ reaches 70%. Prado et al. [40], using a formaldehyde inlet concentration of 2,0 g m^{-3} (IL of 78,2 g m^{-3} h^{-1}), found a linear profile of formaldehyde concentration along the length of the reactor. This result compares to the one found herein for a similar IL (78,9 g m^{-3} h^{-1}) where the elimination capacities are evenly distributed, thus indicating a linear profile of formaldehyde along the length of the reactor, a situation not found at higher IL in our work.

Figure 5a shows the effect of BaP ILs between 6,9 and 247,5 g m^{-3} h^{-1} on the EC of BaP, toluene and formaldehyde, when the concentration of this contaminants remain constant at 0,7 g m^{-3} for toluene and 0,5 g m^{-3} for formaldehyde. Toluene and formaldehyde EC was not influenced by the BaP IL, remaining constant at 16,9±0,9 g m^{-3} h^{-1} and 9,0±0,8 g m^{-3} h^{-1}, respectively. In terms of removal efficiency, over the entire range of BaP ILs, EC values remain constant above 96% for toluene and at 76,7±7,0 % for formaldehyde.

The EC of BaP shows a linear correlation with the IL of the contaminant ($R^2 = 0{,}98$), without a saturation zone as observer for formaldehyde and toluene. As opposed to the results shown in Figure 2a and Figure 3b for toluene and formaldehyde, stage 1 was responsible for most of the BaP EC at every IL.

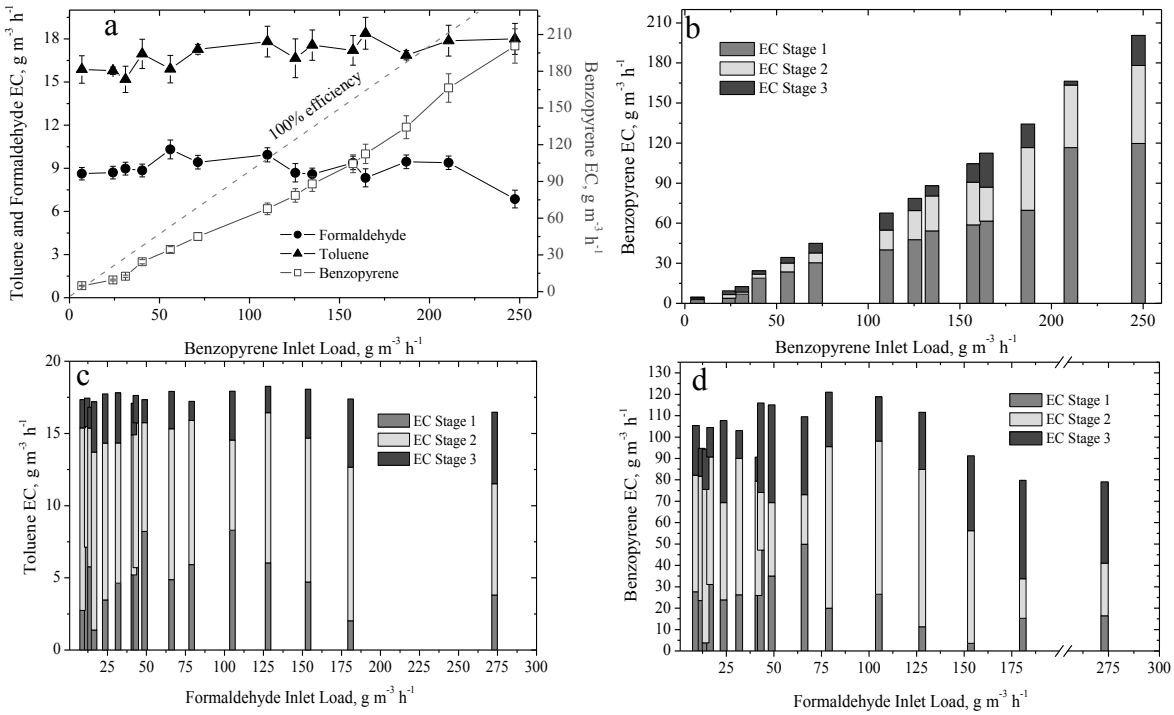


Figure 5. Removal capacity of formaldehyde, toluene and benzo[α]pyrene at different inlet loads of BaP (panel a). Panels b, c and d show the elimination capacity for each stage of the biofilter for BaP, toluene and formaldehyde, respectively. All experiments were performed at an EBRT of 154 s.

Influence of the EBRT on the removal capacity at constant inlet load.

The capacity of the biofilter to simultaneously treat an air stream contaminated with 33,5±0,7 g m^{-3} h^{-1} of toluene, 34,8±2,3 g m^{-3} h^{-1} of formaldehyde and 373,3±41,8 g m^{-3} h^{-1} of BaP at 21ºC with increasing EBRT is shown in Figure 6. Increasing the air flow at constant IL for the different contaminants causes a decrease in the mass transfer resistance although also reducing the residence time, hence creating a trade-off situation.

The removal efficiency of toluene was close to 100% for EBRTs achieved at the lowest inlet flows (154 and 123 s), despite the simultaneous feeding of formaldehyde and BaP. At the highest contaminated air flow (EBRT of 30.8 s) the toluene RE drops to 93%, indicating that the contact time between the contaminant and the biomass was insufficient. However, in all EBRT tested, the REs were higher compared with those obtained by Zamir et al. [37]. They reported toluene removal efficiencies of 45% with an input load of 0,17 g m^{-3} h^{-1} and EBRT of 66 s, 60% with 92 s of EBRT and 87% RE with EBRT of 264 s, showing a consisting increase in RE as the EBRT rises. Working at a constant toluene IL of 25,3 g m^{-3} h^{-1}, Zhu et al. [23] using a mixed packing material (organic and inorganic materials) inoculated with activated sludge, found that the EC remains close to 90% for EBRTs of 148 and 74 s, but decreased to 71% for an EBRT of 50 s, results that are similar to the ones found in our work.

Formaldehyde REs approach 80% for the lowest air flows (EBRTs of 154 and 123 s), reducing to 60% at the lowest EBRT. These results compare well with those reported by Prado et al. (2004), where an EC in excess of 85% was found for EBRTs in the 30-72 s range, decreasing to 78% when the EBRT was reduced to 21 s. However, in the work of Prado et al. (2004), no provisions were taken to maintain a constant IL and only formaldehyde was treated.

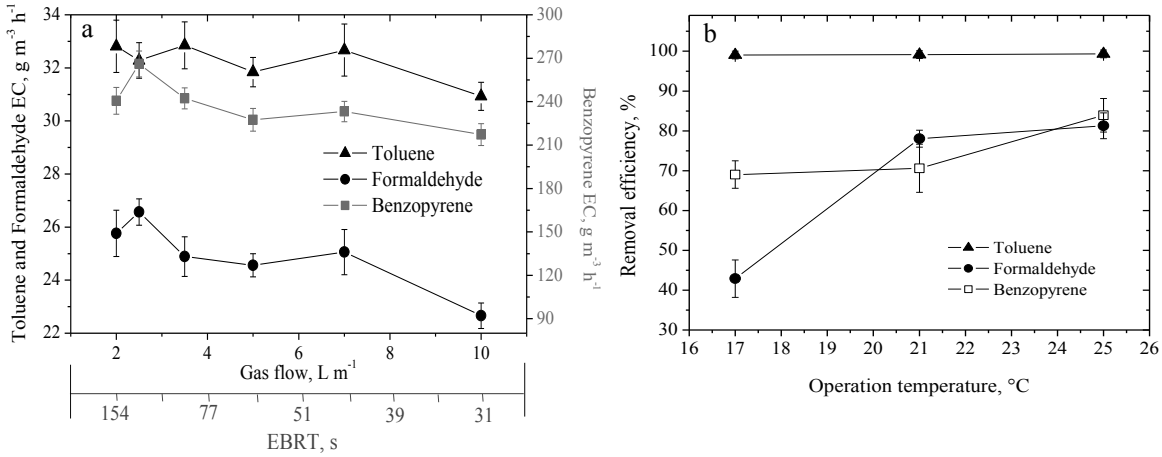


Figure 6. Elimination capacity of toluene, formaldehyde and benzo[α]pyrene for different gas flow from 2 to 10 L m^{-1} at 21 ºC (panel A). Panel B shows the removal efficiencies in the biofilter with an EBRT of 154 s at different operation temperatures 17, 21 and 25 ºC.

The elimination capacity for BaP at different EBRT was on average 239,1±16,2 g m^{-3} h^{-1} with a peak of 266,6±14,2 g m^{-3} h^{-1} at an EBRT of 123,2 s. At this EBRT the RE was 71,4%, decreasing to 58,6% at an EBRT of 30,8 s.
In summary, a five-fold increase in the gas flow produced a 7% decrease in toluene EC, 18% in the BaP's EC and 25% in the elimination capacity of formaldehyde.

Effect of temperature on the removal efficiency

The effect of temperature (17, 21 and 25 ºC) was studied at a constant EBRT of 154 s. Results indicate that nearly 100% toluene REs were obtained at every tested temperature (Figure 6b). In the case of formaldehyde, RE increased from 43% to 67%, when the temperature increased from 17 to 21 ° C. The highest efficiency (81%) was achieved at 25 °C. Likewise, BaP removals efficiencies were similar at 17 and 21 ºC (65%), increasing to 84% when the temperature was 25 ºC. The constant 100% RE for toluene regardless of temperature might seem to contradict our previous results, however the IL of toluene applied in the temperature experiments was only 9,4% of the maximum toluene EC obtained in Figure 2, and thereby, although the microbial biodegradation rate probably decreased with a decrease in temperature, there was an ample unoccupied elimination capacity to counterbalance that decrease, unlike formaldehyde and BaP whose ILs during the temperature experiment correspond to 23,4 and 42,6% of the maximum EC recorded in Figures 3 and 4, respectively.

Summarizing our results, a biofiltration system inoculated with the bacteria *R. erythropolis* and the fungi *F. solani* was studied in this work to assess its behavior towards increasing inlet loads of toluene, formaldehyde and benzo[α]pyrene, varying the concentration of one of the compounds while maintaining the remaining inlet loads and every other experimental parameter constant. Results show that the elimination capacity and removal efficiencies of the contaminants were high and largely independent of each other in an ample range of inlet loads: 3,7 to 447,7; 9,0 to 273,1 and 6,9 to 247,4 g m^{-3} h^{-1} of toluene, formaldehyde and BaP, respectively. Moreover, the responses of the system towards changes in the inlet gas flow at constant inlet loads of the pollutants were studied, indicating that the system is capable of accommodating a fivefold increase in inlet gas flow maintaining removal efficiencies close to 60% for all the contaminants tested. The most dramatic decrease in elimination capacity and removal efficiency in the system was obtained by changing the temperature of the system, where a decrease from 25°C to 17°C reduced the

formaldehyde removal efficiency from 67% to 43%. BaP and toluene removal efficiencies were less affected by the decrease in system's temperature. Therefore, our results show the high flexibility of the biofiltration system inoculated with *F. solani* and *R. erythropolis* for the abatement of toluene, formaldehyde and BaP with high removal efficiencies in a broad range of operating conditions. Results suggest that this flexibility was achieved by the specialization of the stages of the biofilter, where the first stage was preferentially colonized by fungi, while bacterial colonization was predominant in the second and third stages.

Acknowledgements
This research was sponsored by CONICYT – Chile (National Commission for Scientific and Technological Research) project FONDEF IDeA in two stages Nº ID4i10130 and ID14i20130.

References

[1] A. Vergara-Fernández, D. Yánez, P. Morales, F. Scott, G. Aroca, L. Diaz-Robles, P. Moreno-Casas, Biofiltration of benzo[α]pyrene, toluene and formaldehyde in air by a consortium of Rhodococcus erythropolis and Fusarium solani: Effect of inlet loads, gas flow and temperature, Chem. Eng. J. 332 (2018). doi:10.1016/j.cej.2017.09.095.

[2] A.J. Cohen, M. Brauer, R. Burnett, H.R. Anderson, J. Frostad, K. Estep, K. Balakrishnan, B. Brunekreef, L. Dandona, R. Dandona, V. Feigin, G. Freedman, B. Hubbell, A. Jobling, H. Kan, L. Knibbs, Y. Liu, R. Martin, L. Morawska, C.A. Pope, H. Shin, K. Straif, G. Shaddick, M. Thomas, R. van Dingenen, A. van Donkelaar, T. Vos, C.J.L. Murray, M.H. Forouzanfar, Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015, Lancet. 389 (2017) 1907–1918. doi:10.1016/S0140-6736(17)30505-6.

[3] S. Kundu, E.A. Stone, Composition and sources of fine particulate matter across urban and rural sites in the Midwestern United States, Environ. Sci. Process. Impacts. 16 (2014) 1360–1370. doi:10.1039/C3EM00719G.

[4] F.I. Khan, A. Kr. Ghoshal, Removal of Volatile Organic Compounds from polluted air, J. Loss Prev. Process Ind. 13 (2000) 527–545. doi:10.1016/S0950-4230(00)00007-3.

[5] D. Hoyt, L.H. Raun, Measured and estimated benzene and volatile organic carbon (VOC) emissions at a major U.S. refinery/chemical plant: Comparison and prioritization, J. Air Waste Manage. Assoc. 65 (2015) 1020–1031. doi:10.1080/10962247.2015.1058304.

[6] R.A. Harley, D.S. Hooper, A.J. Kean, T.W. Kirchstetter, J.M. Hesson, N.T. Balberan, E.D. Stevenson, G.R. Kendall, Effects of Reformulated Gasoline and Motor Vehicle Fleet Turnover on Emissions and Ambient Concentrations of Benzene, Environ. Sci. Technol. 40 (2006) 5084–5088. doi:10.1021/es0604820.

[7] M. Evtyugina, C. Alves, A. Calvo, T. Nunes, L. Tarelho, M. Duarte, S.O. Prozil, D. V. Evtuguin, C. Pio, VOC emissions from residential combustion of Southern and mid-European woods, Atmos. Environ. 83 (2014) 90–98. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.10.050.

[8] J.A. Bernstein, N. Alexis, H. Bacchus, I.L. Bernstein, P. Fritz, E. Horner, N. Li, S. Mason, A. Nel, J. Oullette, K. Reijula, T. Reponen, J. Seltzer, A. Smith, S.M. Tarlo, The health effects of nonindustrial indoor air pollution, J. Allergy Clin. Immunol. 121 (2008) 585–591. doi:10.1016/j.jaci.2007.10.045.

[9] T. Karl, E. Apel, A. Hodzic, D.D. Riemer, D.R. Blake, C. Wiedinmyer, Emissions of volatile organic compounds inferred from airborne flux measurements over a megacity, Atmos. Chem. Phys. 9 (2009) 271–285. doi:10.5194/acp-9-271-2009.

[10] L. Hu, D.B. Millet, M. Baasandorj, T.J. Griffis, K.R. Travis, C.W. Tessum, J.D. Marshall, W.F. Reinhart, T. Mikoviny, M. M?ller, A. Wisthaler, M. Graus, C. Warneke, J. de Gouw, Emissions of C 6 - C 8 aromatic compounds in the United States: Constraints from tall tower and aircraft measurements, J. Geophys. Res. Atmos. 120 (2015) 826–842. doi:10.1002/2014JD022627.

[11] T. Salthammer, S. Mentese, R. Marutzky, Formaldehyde in the Indoor Environment, Chem. Rev. 110 (2010) 2536–2572. doi:10.1021/cr800399g.

[12] A.K. Haritash, C.P. Kaushik, Biodegradation aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A review, J. Hazard. Mater. 169 (2009) 1–15. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.03.137.

[13] C. Rafin, E. Veignie, P. Woisel, F. Cazier, G. Surpateanu, New Potential of a Deuteromycete fungus Fusarium solani in benzo [a] pyrene degradation : an eco-physiological hypothesis?, in: M.P. Glazer (Ed.), New Front. Environ. Res., Nova Science Publishers, Inc., New York, 2006: pp. 165–181.

[14] K.K. Pozo, V.H. Estellano, T. Harner, L. Diaz-Robles, F. Cereceda-Balic, P. Etcharren, K.K. Pozo, V. Vidal, F. Guerrero, A. Vergara-Fernández, Assessing Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) using passive air sampling in the atmosphere of one of the most wood-smoke-polluted cities in Chile: The case study of Temuco, Chemosphere. 134 (2015) 475–481. doi:10.1016/j.chemosphere.2015.04.077.

[15] R. Barro, J. Regueiro, M. Llompart, C. Garcia-Jares, Analysis of industrial contaminants in indoor air: Part 1. Volatile organic compounds, carbonyl compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls, J. Chromatogr. A. 1216 (2009) 540–566. doi:10.1016/j.chroma.2008.10.117.

[16] K. Liu, W. Han, W.-P. Pan, J.T. Riley, Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) emissions from a coal-fired pilot FBC system, J. Hazard. Mater. 84 (2001) 175–188. doi:10.1016/S0304-3894(01)00196-0.

[17] E. Pino-Cortés, L.A.L.A. Díaz-Robles, F. Cubillos, J.S. Fu, A. Vergara-Fernández, Sensitivity analysis of biodiesel blends on Benzo[a]pyrene and main emissions using MOVES: A case study in Temuco, Chile, Sci. Total Environ. 537 (2015) 352–359. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.07.143.

[18] M.-C. Delhoménie, M. Heitz, Biofiltration of Air: A Review, Crit. Rev. Biotechnol. 25 (2005) 53–72. doi:10.1080/07388550590935814.

[19] Z. Shareefdeen, B. Herner, A. Singh, Biotechnology for Air Pollution Control: an Overview, in: Biotechnol. Odor Air Pollut. Control, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2005: pp. 3–15. doi:10.1007/3-540-27007-8_1.

[20] M.-C. Delhomenie, L. Bibeau, J. Gendron, R. Brzezinski, M. Heitz, Toluene Removal by Biofiltration:? Influence of the Nitrogen Concentration on Operational Parameters, Ind. Eng. Chem. Res. 40 (2001) 5405–5414. doi:10.1021/ie0011270.

[21] I. García-Peña, I. Ortiz, S. Hernández, S. Revah, Biofiltration of BTEX by the fungus Paecilomyces variotii, Int. Biodeterior. Biodegradation. 62 (2008)

442–447. doi:10.1016/j.ibiod.2008.03.012.
[22] A. Vergara-Fernández, L. Lara Molina, N.A. Pulido, G. Aroca, Effects of gas flow rate, inlet concentration and temperature on the biofiltration of toluene vapors, J. Environ. Manage. 84 (2007) 115–122. doi:10.1016/j.jenvman.2006.04.009.
[23] Y. Zhu, S. Li, Y. Luo, H. Ma, Y. Wang, A biofilter for treating toluene vapors: performance evaluation and microbial counts behavior, PeerJ. 4 (2016) e2045. doi:10.7717/peerj.2045.
[24] G. Maldonado-Diaz, S. Arriaga, Biofiltration of high formaldehyde loads with ozone additions in long-term operation, Appl. Microbiol. Biotechnol. 99 (2015) 43–53. doi:10.1007/s00253-014-5848-7.
[25] S. Mishra, S.N. Singh, Biodegradation of benzo(a)pyrene mediated by catabolic enzymes of bacteria, Int. J. Environ. Sci. Technol. 11 (2014) 1571–1580. doi:10.1007/s13762-013-0300-6.
[26] X. Song, Y. Xu, G. Li, Y. Zhang, T. Huang, Z. Hu, Isolation, characterization of *Rhodococcus sp*. P14 capable of degrading high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons and aliphatic hydrocarbons, Mar. Pollut. Bull. 62 (2011) 2122–2128. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.07.013.
[27] D.R. Nemergut, K.G. Wunch, R.M. Johnson, J.W. Bennett, Benzo[a]pyrene removal by Marasmiellus troyanus in soil microcosms, J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 25 (2000) 116–119. doi:10.1038/sj.jim.7000034.
[28] A. Reyes-César, A.E. Absalon, F.J. Fernandez, J.M. Gonzalez, D. V. Cortes-Espinosa, Biodegradation of a mixture of PAHs by non-ligninolytic fungal strains isolated from crude oil-contaminated soil, World J. Microbiol. Biotechnol. 30 (2014) 999–1009. doi:10.1007/s11274-013-1518-7.
[29] P. Morales, M. Cáceres, F. Scott, L. Díaz-Robles, G. Aroca, A. Vergara-Fernández, Biodegradation of benzo[α]pyrene, toluene, and formaldehyde from the gas phase by a consortium of Rhodococcus erythropolis and Fusarium solani, Appl. Microbiol. Biotechnol. 101 (2017) 6765–6777. doi:10.1007/s00253-017-8400-8.
[30] A. Vergara-Fernández, B. Van Haaren, S. Revah, Phase partition of gaseous hexane and surface hydrophobicity of Fusarium solani when grown in liquid and solid media with hexanol and hexane, Biotechnol. Lett. 28 (2006) 2011–2017. doi:10.1007/s10529-006-9186-4.
[31] C. Kennes, M.C.M.C. Veiga, Fungal biocatalysts in the biofiltration of VOC-polluted air, J. Biotechnol. 113 (2004) 305–319. doi:10.1016/j.jbiotec.2004.04.037.
[32] R. Lebrero, J.C. López, I. Lehtinen, R. Pérez, G. Quijano, R. Muñoz, Exploring the potential of fungi for methane abatement: Performance evaluation of a fungal-bacterial biofilter, Chemosphere. 144 (2016) 97–106. doi:10.1016/j.chemosphere.2015.08.017.
[33] G. Spigno, D. De Marco Faveri, Modeling of a vapor-phase fungi bioreactor for the abatement of hexane: Fluid dynamics and kinetic aspects, Biotechnol. Bioeng. 89 (2005) 319–328. doi:10.1002/bit.20336.
[34] A. Vergara-Fernández, F. Scott, P. Moreno-Casas, L. Diaz-Robles, R. Muñoz, Elucidating the key role of the fungal mycelium on the biodegradation of n-pentane as a model hydrophobic VOC, Chemosphere. 157 (2016). doi:10.1016/j.chemosphere.2016.05.034.
[35] A. Vergara-Fernandez, O. Soto-Sanchez, J. Vasquez, Effects of Packing Material Type on n-Pentane/Biomass Partition Coefficient for Use in Fungal Biofilters, Chem. Biochem. Eng. Q. 25 (2011) 439–444.

[36] N. Khammar, L. Malhautier, V. Degrange, R. Lensi, J.-J. Godon, J.-L. Fanlo, Link between spatial structure of microbial communities and degradation of a complex mixture of volatile organic compounds in peat biofilters, J. Appl. Microbiol. 98 (2005) 476–490. doi:10.1111/j.1365-2672.2004.02474.x.

[37] S.M. Zamir, R. Halladj, B. Nasernejad, Removal of toluene vapors using a fungal biofilter under intermittent loading, Process Saf. Environ. Prot. 89 (2011) 8–14. doi:10.1016/j.psep.2010.10.001.

[38] J. Pineda, R. Auria, F. Perez-Guevara, S. Revah, Biofiltration of toluene vapors using a model support, Bioprocess Eng. 23 (2000) 479–486. doi:10.1007/s004499900181.

[39] H.H.J. Cox, M.A. Deshusses, Biomass control in waste air biotrickling filters by protozoan predation, Biotechnol. Bioeng. 62 (1999) 216–224. doi:10.1002/(SICI)1097-0290(19990120)62:2<216::AID-BIT12>3.0.CO;2-4.

[40] O. Prado, M.C. Veiga, C. Kennes, Biofiltration of waste gases containing a mixture of formaldehyde and methanol, Appl. Microbiol. Biotechnol. 65 (2004). doi:10.1007/s00253-004-1616-4.

MODELACIÓN NUMÉRICA 3D COMO APOYO AL DISEÑO DE CONTRACCIONES EN CANALES DE FLUJO SUPERCRÍTICO

Maximiliano Martínez[1] y Yarko Niño[2]

Resumen

En este artículo se comparan los métodos usuales en el diseño de contracciones en flujo supercrítico con las capacidades de la Fluidodinámica Computacional (CFD). Las contracciones en canales de flujo supercrítico generan ondas cruzadas en el flujo, las que pueden aumentar considerablemente la altura de escurrimiento en el punto que son generadas y hacia aguas abajo, debido a la propagación de estas ondas. Los métodos usuales para determinar la altura de escurrimiento en estos casos particulares subestiman dicho parámetro para números de Froude mayores a dos, debido a las simplificaciones consideradas en el cálculo de esta variable. Se presenta la modelación numérica en tres dimensiones como un apoyo al diseño de contracciones en canales de flujo supercrítico, al no contar con las limitaciones de los métodos usuales y debido al aumento de la capacidad de cálculo de los computadores actuales, así como los avances en el campo de la CFD. Se realiza la modelación mediante el software ANSYS-CFX de varios escenarios, los cuales fueron ensayados en laboratorio por Hager (1987), obteniendo resultados concordantes con las observaciones realizadas.

[1]Ingeniero Civil Hidráulico, max.martinez.haase@gmail.com
[2]Departamento de Ingeniería Civil y Advanced Mining Technology Center, Universidad de Chile, ynino@ing.uchile.cl

(*) Texto resumen de la memoria de título "Análisis de la modelación numérica 3D en el diseño de deflexiones en canales supercríticos. Aplicación al modelo físico del rápido de descarga de la central hidroeléctrica Chucás de Costa Rica", Maximiliano Martínez H.

INTRODUCCIÓN

El diseño de contracciones en un flujo supercrítico involucra complicaciones que no se ven en el caso subcrítico. Esto se debe a la formación de ondas estacionarias en la superficie, que pueden producir sobreelevaciones importantes del nivel de agua y condiciones indeseables del flujo, lo que se traduce en la necesidad de muros más altos. En general, se indica que, en conducciones importantes con grandes caudales y altas velocidades, las transiciones deben ser verificadas en laboratorio (Mery, 2013). No obstante, se han realizado estudios experimentales para determinar las condiciones en las que se forman las ondas estacionarias y poder estimar dimensiones en la etapa de diseño.

Aunque los modelos físicos llevan muchos años utilizándose para validar el diseño de proyectos de gran envergadura, estos requieren de gran cantidad de recursos monetarios y temporales. En la actualidad ya se cuenta con otro tipo de herramientas complementarias, como la modelación numérica, mediante el uso de computadores que son capaces de resolver las ecuaciones del flujo y caracterizar el fenómeno en estudio en 3D.

MÉTODOS EMPÍRICOS Y DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO

Dentro de los estudios experimentales realizados para caracterizar el efecto de ondas cruzadas se tiene el de Ippen & Dawson (1951), quienes mediante investigación experimental y analítica, determinaron que las contracciones rectas son siempre mejores que contracciones curvas de igual longitud, desde el punto de vista de la altura máxima de escurrimiento. Además, determinaron que para un flujo supercrítico en un canal horizontal a través de una contracción recta (Figura 1.a) se desarrollan ondas simétricas en los puntos A y A' en el inicio de la contracción. Estas ondas se extienden a lo largo del canal formando un ángulo β_1, pasando por el eje del canal hasta alcanzar las paredes opuestas en los puntos C y C'. En el punto final de la contracción, se producen ondas o perturbaciones negativas que se transmiten hacia aguas abajo generando un patrón complejo de ondas.

Ippen (1950), Ippen & Dawson (1951), e Ippen & Harleman (1956) determinaron que para minimizar la propagación de ondas aguas abajo del canal, el punto de llegada C de las ondas debe coincidir con el final de la transición en el punto D (Figura 1.b). Esta condición se logra cuando:

$$L = \frac{b_1 - b_3}{2\tan\theta} = L_1 + L_2 \qquad [1]$$

donde:

$$L_1 = \frac{b_1}{2\tan\beta_1} \qquad [2]$$

y

$$L_2 = \frac{b_3}{2\tan(\beta_2 - \theta)} \qquad [3]$$

El largo total de la transición, L, está dado por la expresión [1], donde b_1 y b_3 son el ancho del canal antes y después de la transición, θ corresponde a la deflexión del canal, los ángulos β_1 y β_2 están dados por las ondas formadas al inicio de la transición y los largos L_1 y L_2 están definidos por el punto donde se intersectan las ondas (sección 2), como se observa en la Figura 1.

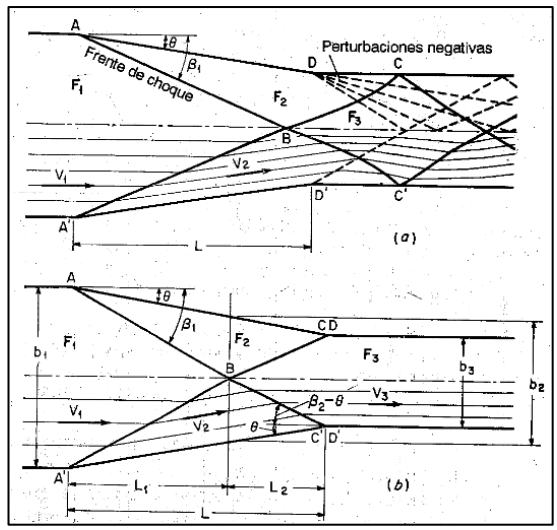


Figura 1: Transición de canal ancho a angosto. Extraído de "Hidráulica de Canales Abiertos", Chow (1960).

Para conocer los ángulos formados por las ondas es necesario resolver las ecuaciones de continuidad y de momentum del flujo:

$$V_1 y_1 \sin\beta_1 = V_2 y_2 \sin(\beta_1 - \theta) \qquad [4]$$

$$V_1 \cos\beta_1 = V_2 \cos(\beta_1 - \theta) \qquad [5]$$

$$\sin\beta_1 = \frac{1}{F_1}\left[\frac{1}{2}\frac{y_2}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}+1\right)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad [6]$$

En este caso, además de los parámetros ya definidos, se tiene la velocidad V, la altura de escurrimiento y, y el número de Froude F, en el inicio de la transición (sección 1) y en la intersección de las ondas generadas por ésta (sección 2).

Ippen (1950), Ippen & Dawson (1951), e Ippen & Harleman (1956), entregaron soluciones gráficas para este set de ecuaciones. El método de diseño se resume en valores arbitrarios de θ e ir resolviendo las ecuaciones [4] a [6] hasta satisfacer la condición dada por las ecuaciones [1] a [3].

Posteriormente a los estudios realizados por Ippen et al., se han realizado otras contribuciones, pero todas basadas en el enfoque de interferencia de ondas de Ippen, apuntando a minimizar el proceso de cálculo de ensayo y error utilizado comúnmente. Dentro de estas contribuciones se puede distinguir el trabajo de Sturm (1985), quien determina que el criterio para minimizar la transmisión de las ondas aguas abajo, [1], es equivalente a satisfacer:

$$\frac{b_1}{b_3} = \frac{F_3}{F_1}\left(\frac{y_3}{y_1}\right)^{\frac{3}{2}} \qquad [7]$$

donde, siguiendo la simbología ya expuesta, b_1 es el ancho del canal antes de la transición, b_3 es el ancho después de la transición, y es la altura de escurrimiento, y F_i el número de Froude, en el inicio de la transición (sección 1) y en el final de ésta (sección 3).

Posteriormente Hager (1992) propone una nueva expresión para determinar el ángulo de deflexión que minimice la propagación de las ondas, en base al número de Froude al inicio de la transición, siguiendo la simbología ya expuesta, estableciendo que:

$$\arctan\theta = \frac{1}{2F_1}\left(\frac{b_1}{b_3} - 1\right) \qquad [8]$$

Uno de los estudios más recientes corresponde al realizado por Hsu et al. (2004), donde establecen una expresión para determinar la contracción óptima dada por:

$$\frac{b_3}{b_1} = \frac{\sin(\beta_a - \theta)}{\sin\beta_a}\frac{\sin(\beta_b - \theta)}{\sin\beta_b} \qquad [9]$$

donde b_1 es el ancho del canal antes de la transición, b_3 es el ancho después de la transición, y los ángulos β_a y β_b se establecen en la Figura 2. Dada una deflexión θ, se obtiene el número de Froude de la zona II (F_2) mediante [11]. Luego se obtienen β_a y β_b utilizando [10] con F_1 y F_2, respectivamente. Para obtener b_3, se utiliza la expresión [9] propuesta por Hsu et al. (2004). Finalmente el largo de la transición se deriva de la expresión [1] presentada anteriormente:

$$\tan\theta = \frac{\tan\beta_a\left(\sqrt{1+8{F_1}^2(\sin\beta_a)^2}-3\right)}{2(\tan\beta_a)^2 + \sqrt{1+8{F_1}^2(\sin\beta_a)^2}} \qquad [10]$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{\sin\beta_a}{\sin(\beta_a - \theta)}\left(\frac{\tan(\beta_a - \theta)}{\tan\beta_a}\right)^{3/2} \qquad [11]$$

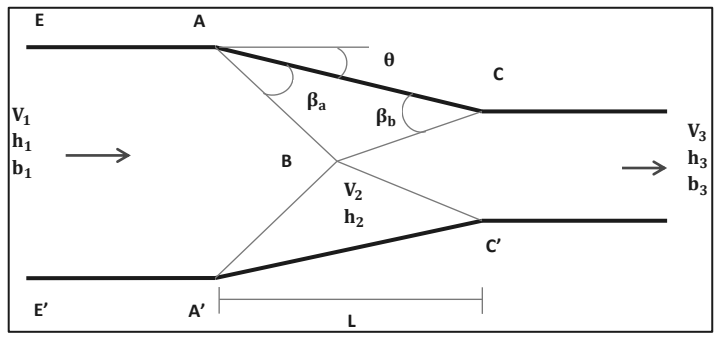


Figura 2: Contracción óptima según Hsu et al. (2004).

Por otro lado, el U.S. Bureau of Reclamation propone expresiones para evitar la aparición de ondas estacionarias en el flujo. En su texto "Design of Small Canals Structures" (1978), establece:

$$\cot\theta = 3{,}375\,F = 3{,}375\left(\frac{V}{\sqrt{(1-K)gh\cos\alpha}}\right) \qquad [12]$$

donde V es la velocidad a la entrada de la transición, h es la altura de escurrimiento a la entrada de la transición y α corresponde a la pendiente del canal en ese punto. En este caso el número de Froude depende de un factor de aceleración K, el cual es función de la base del canal en el punto de la transición:

- Para base plana, $K = 0$.
- Si la base corresponde a una curva circular de radio R,

$$K = \frac{V^2}{gR\cos\alpha} \qquad [13]$$

- Si la base corresponde a una curva parabólica,

$$K = \frac{(\tan\theta_L - \tan\theta_o)\,2h_v\,(\cos\theta_o)^2}{L_T} \qquad [14]$$

donde, h_v corresponde a la altura de velocidad al origen de la trayectoria, θ_L y θ_o corresponden a la pendiente de la base al final y al inicio de la trayectoria respectivamente, y L_T es el largo de la trayectoria. El USBR, establece un límite máximo de 0,5 para el valor de K, para asegurar presiones positivas en la base del canal. Además, si la condición dada por la ecuación [12] no controla el ángulo de deflexión, éste no debe ser mayor de los 30° y el ángulo de la superficie de agua con el eje medio en el final de la transición puede ser de hasta 25°.

También, el USBR, en su texto "Design of Small Dams" (1987) establece que para evitar la formación de ondas estacionarias, la variación angular de las paredes medida desde el eje central del canal, θ_c, no debe exceder la ecuación:

$$\tan\theta_c = \frac{1}{3F} \qquad [15]$$

donde en este caso el número de Froude, al inicio de la transición, está dado por:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gh}} \qquad [16]$$

MARCO TEÓRICO

La dinámica de un fluido en 3 dimensiones está descrito por un sistema de ecuaciones diferenciales parciales que representan matemáticamente las leyes de conservación de la física: conservación de masa, momentum y energía. Para resolver este sistema y caracterizar completamente la dinámica de un fluido, se han desarrollado diversos métodos computacionales basados, por ejemplo, en volúmenes finitos.

Las ecuaciones para representar las fluctuaciones turbulentas son obtenidas a partir de la descomposición de Reynolds que describe el movimiento turbulento como una variación aleatoria alrededor del valor promedio:

$$\varphi = \bar{\varphi} + \varphi' \qquad (17)$$

donde φ es el término instantáneo, $\bar{\varphi}$ corresponde al valor promedio y φ' es la parte fluctuante. Si se toma el valor promedio en el tiempo, $\overline{\varphi'}$ es igual a cero y el valor medio $\bar{\varphi}$ se define como:

$$\overline{\varphi(x)} = \lim_{t\to\infty}\frac{1}{\Delta t}\int_{t_1}^{t_1+\Delta t}\varphi(x,t)dt \qquad t_1 \ll \Delta t \ll t_2 \qquad (18)$$

donde t_1 es la escala de tiempo de las fluctuaciones rápidas y t_2 la escala de tiempo de los movimientos lentos en los cuales se resuelven las ecuaciones. Es decir, Δt es lo suficientemente grande para no lograr describir las fluctuaciones rápidas, pero menor al problema que se pretende resolver. Luego, para un fluido de una fase, incompresible, y tomando los términos promedios en el tiempo para la velocidad y la presión, las ecuaciones de continuidad y de Navier-Stokes, en notación tensorial, están dadas por:

$$\frac{\partial\overline{u_i}}{\partial x} = 0 \qquad (19)$$

$$\frac{\partial\overline{u_i}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{u_i}\,\overline{u_j}\right) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial\bar{p}}{\partial x_i} + \nu\frac{\partial^2\overline{u_i}}{\partial x_j\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\overline{u'_i u'_j}\right) \qquad (20)$$

donde $\overline{u_\iota}$ es la velocidad promedio, u'_i es la fluctuación en la velocidad, ρ es la densidad del fluido, v es la viscosidad cinemática y $\bar{p}$ es la presión motriz. La ecuación (20) es la llamada ecuación de Navier-Stokes promediada de Reynolds (RANS) donde el término $\overline{u'_\iota u'_\jmath}$ es el tensor de esfuerzos de Reynolds, que es simétrico, con 6 componentes independientes. El tensor incluye más incógnitas que las ecuaciones del sistema, por tanto el problema no está cerrado y para lograr esto se recurre a la modelación de los esfuerzos de Reynolds.

El enfoque más utilizado para resolver este problema de cierre es la aproximación de Boussinesq de viscosidad de torbellinos (Wilcox, 2006), la que se basa en la analogía entre el movimiento molecular y el turbulento, tal que se realiza una correlación entre los esfuerzos de Reynolds con la tasa de deformación del movimiento medio. De esta forma los torbellinos turbulentos colisionan entre si e intercambian momentum, de igual forma que las moléculas, obedeciendo la teoría cinética de los gases. De esta forma, los esfuerzos de Reynolds se modelan como:

$$\tau_{ij} = \overline{u'_\iota u'_\jmath} = \frac{2}{3}k\delta_{ij} - v_t\left(\frac{\partial \overline{u_\iota}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_\jmath}}{\partial x_i}\right) \qquad (21)$$

$$k = \frac{1}{2}\overline{u'_\iota u'_\iota} = \frac{1}{2}\left(\overline{u'_1{}^2} + \overline{u'_2{}^2} + \overline{u'_3{}^2}\right) \qquad (22)$$

donde k es la energía cinética turbulenta y $v_t (= \mu_t/\rho)$ es la viscosidad cinemática turbulenta. Para resolver el problema se deben determinar estos dos términos. Existen variados modelos para determinar estos valores, los cuales se suelen clasificar como modelos de cero, una, o dos ecuaciones según el número de expresiones adicionales que introducen para poder determinar k y v_t.

Los modelos de dos ecuaciones han sido ampliamente utilizados en diversas aplicaciones, por lo que se cuenta con conocimiento de su comportamiento de antemano (Argyropoulos & Markatos, 2015). Dentro de estos los más utilizados son los modelos $k-\varepsilon$ y $k-\omega$.

SIMULACIONES

Dentro del software disponible para resolver el set de ecuaciones presentados anteriormente se utilizará ANSYS CFX 16.2 en su versión académica.

Para los criterios de diseño o métodos para determinar características del flujo supercrítico al pasar por una contracción, presentados anteriormente, se utilizará la clasificación de la Tabla 1 según las restricciones de cada método.

Tabla 1: Resumen de métodos

Objetivo	Autor	Canal con pendiente
Disminuir propagación de ondas	Ippen & Dawson (1951)	No
	Sturm (1985)	No
	Hager (1992)	Si
	Hsu et al. (2004)	No
Ausencia de ondas	USBR (Small Canals, Small Dams)	Si

Para comparar los resultados de modelación numérica 3D frente a estos métodos se ha seleccionado el set de datos utilizado por Hager et al. (1987), en el cual desarrolla un modelo compuesto por un ancho inicial de 0,5 m, la pared de la contracción movible y de largo 3,4 m, y por una pared fija recta (Figura 3). Esto simula la mitad de un canal y es válido dado que el fenómeno es simétrico con respecto al eje del canal. Los resultados experimentales se presentan en la Tabla 2.

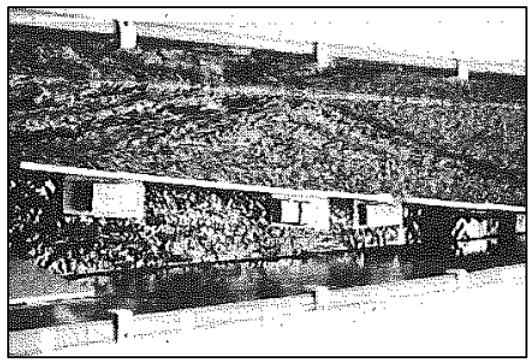


Figura 3: Canal experimental montado por Hager et al. (1987).

El dominio espacial varía para cada geometría experimental ya que en cada experiencia se tiene una deflexión y un ancho de aguas abajo distinto. Además, se limita la altura del dominio para cada experiencia a una magnitud cercana y mayor a la altura de aguas abajo reportada de manera experimental. Esto último con el fin de optimizar los recursos computacionales requeridos en cada simulación. Luego, para cada dominio es necesario realizar un análisis de sensibilidad de los resultados en función de la malla a utilizar, donde la malla escogida responde a un criterio de minimizar tiempos de simulación, junto con que la variación de los resultados entre una malla y la siguiente sea del orden de milímetros.

Tabla 2: Resultados experimentales de Hager et al. (1987).

Q [m³/s]	y_1 [mm]	V_1 [m/s]	F_1	b_3 [mm]	θ [°]	y_3 [mm]
0,008	6,6	2,42	9,5	315	3,1	23
0,010	7,9	2,53	9,1	270	3,8	29
0,012	9,2	2,61	8,7	210	4,8	37
0,015	11,1	2,70	8,2	185	5,3	47
0,020	14,05	2,85	7,7	175	5,5	58
0,030	19,5	3,08	7,0	193	5,15	70
0,050	29	3,45	6,5	205	5,0	86
0,075	40,5	3,70	5,9	230	4,55	95
0,100	51,9	3,85	5,4	235	4,4	120

En las condiciones de borde se definen: una entrada, una salida, una apertura del sistema a la atmósfera y las paredes del canal. En la condición de entrada se establece una altura de escurrimiento y velocidad dadas por las condiciones experimentales. En la condición de salida se establece un régimen supercrítico, lo que implica que el software calcula según las condiciones de aguas arriba. La apertura del sistema a la atmósfera se compone de aire a presión atmosférica. En las paredes se establece una condición de no resbalamiento, considerando que las paredes se comportan de forma hidrodinámicamente lisa. Además, se utiliza el modelo SST, modelo de dos ecuaciones que mezcla las ventajas para simular un flujo de superficie libre del modelo $k-\varepsilon$, con la capacidad de modelar cerca de las paredes el modelo $k-\omega$, el cual permite un tratamiento de resolución del flujo en las cercanías de la pared. Finalmente, se realizan las simulaciones para las condiciones de flujo expuestas en la Tabla 2.

Se realizan las simulaciones para cada condición de caudal, donde en el dominio espacial se establece la deflexión de acuerdo a los datos experimentales. Los resultados de la altura media de escurrimiento al final de la transición y_3, normalizada por la altura al inicio y_1, se presentan en la Figura 4. Se observa que los métodos de cálculo empíricos de Ippen & Dawson (1951), Sturm (1985) y Hsu et al. (2004), subestiman notoriamente la altura de escurrimiento para números de Froude mayores que 6, lo que se debe a que estos métodos no consideran conservación de la cantidad de movimiento en la dirección vertical, sino que solo en las direcciones horizontales. El fenómeno simulado presenta aceleraciones verticales involucradas, que no son tomadas en cuenta por los métodos de Ippen & Dawson (1951), Sturm (1985) y Hsu et al. (2004). Por lo tanto, la simulación numérica entrega resultados más cercanos a los datos experimentales al aplicar conservación de la cantidad de movimiento en las tres direcciones, obteniendo magnitudes muy cercanas a las registradas de forma experimental.

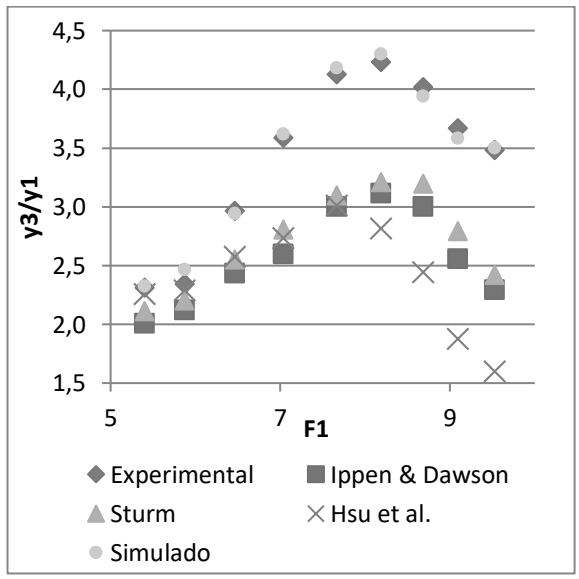


Figura 4: Altura de escurrimiento normalizada al final de la transición.

La formación de ondas cruzadas y su impacto en el muro al final de la transición es posible apreciarlo de forma visual, recordando que para la simulación se utilizó el ángulo de deflexión reportado experimentalmente por Hager & Bretz (1987). En la mayoría de los casos se observa que la onda impacta al final de la transición y por lo tanto el fenómeno es replicado de buena forma con la simulación, lo que es posible apreciar en las Figuras 5 a la 7. Sin embargo, para los casos de mayor caudal la onda presenta un desarrollo transversal mayor y como se observa en la Figura 8, la onda no impacta de forma total al final de la transición sino que gran parte de ella pasa hacia aguas abajo. No obstante lo anterior, la simulación presenta siempre un mejor ajuste que los métodos estudiados para números de Froude mayores, como es posible apreciar de manera gráfica en la Figura 9.

En el caso de los canales con pendiente, se realizan simulaciones para un canal de ancho 0,5 m y 5 m de largo, con una pendiente de 30°. Se verifican tres condiciones de flujo, para números de Froude de 3, 6 y 9, donde en cada uno se realizan tres simulaciones, como se indica en la Tabla 3. Para cada condición de flujo es utilizada una deflexión distinta: una dada por el texto Small Dams, otra siguiendo las indicaciones del texto Small Canals, y finalmente una tercera deflexión menor a los dos anteriores.

Se establece una malla con elementos de tamaño máximo 0,01 m, ya que es posible reproducir el fenómeno de ondulaciones en la superficie libre con esta discretización. Las condiciones de simulación son análogas a las anteriores; es decir, existe una condición de entrada, una de salida, una de apertura el sistema con presión atmosférica y la condición generada por las paredes y el fondo del canal.

Para cada ángulo de deflexión analizado se observó la formación del patrón de flujo característico de las ondas cruzadas, el cual es más acentuado para ángulos mayores. En la Figura 10 es posible de visualizar esto, en un flujo con número de Froude 3, a la entrada de la transición. El patrón también se repite para los demás casos simulados (F1=6 y F1=9).

Tabla 3: Condiciones de simulación.

Condiciones del flujo			**Deflexión [°]**		
F1	**h1 [m]**	**V [m/s]**	**Small Dams**	**Small Canals**	**Menor**
3	0,1	2,971	6,3	5,1	4
6	0,07	4,972	3,2	2,6	2
9	0,04	5,638	2,1	1,7	1

En las Figuras 11 a la 13 se presenta de manera gráfica la variación del eje hidráulico a lo largo del eje del canal, donde en cada caso se logra identificar la sobreelevación producida por la deflexión al inicio del canal. En estos gráficos se aprecia que mientras mayor es la deflexión, mayor es la sobreelevación producida en el flujo, lo cual es un resultado esperado que la simulación en 3D logra reproducir. Además, se identifica que mientras mayor es el número de Froude en la entrada del canal, la sobreelevación se desplaza hacia aguas abajo de la deflexión.

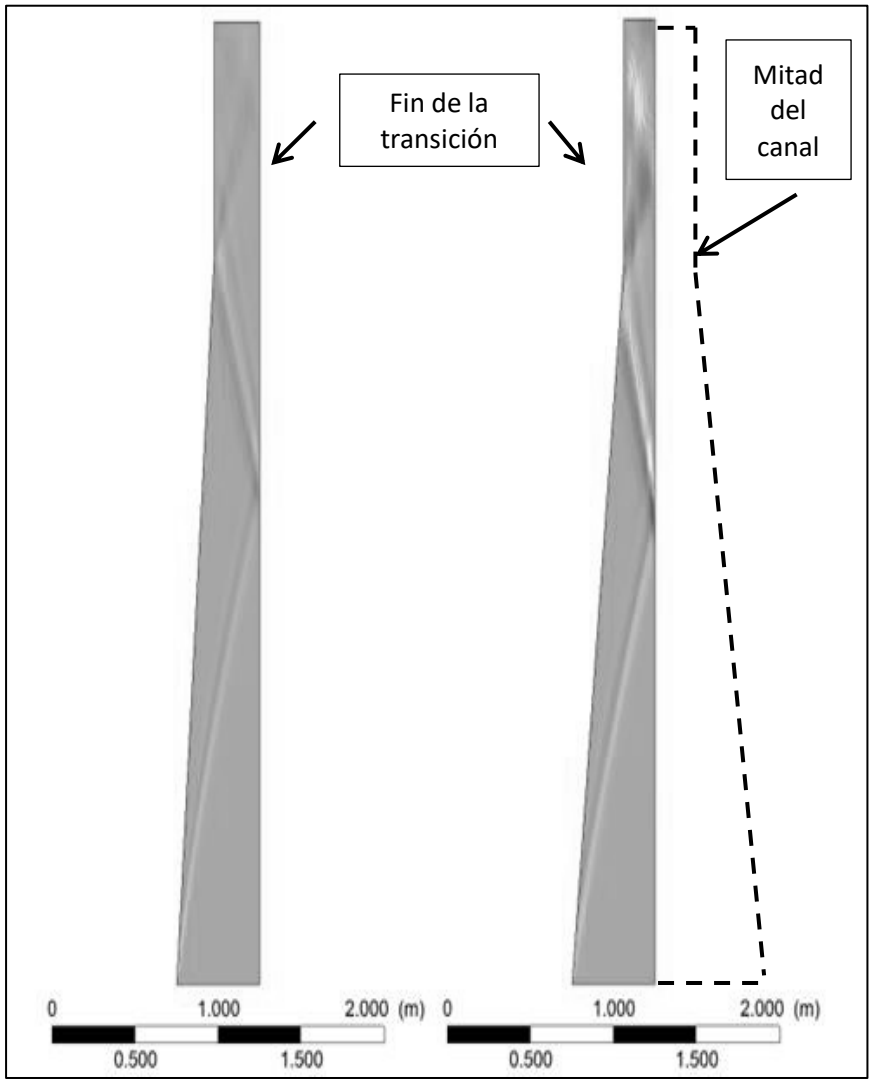


Figura 5: Simulación de ondas cruzadas en la mitad del ancho del canal. F1= 9,53 (Izquierda) y F1= 9,09 (Derecha).

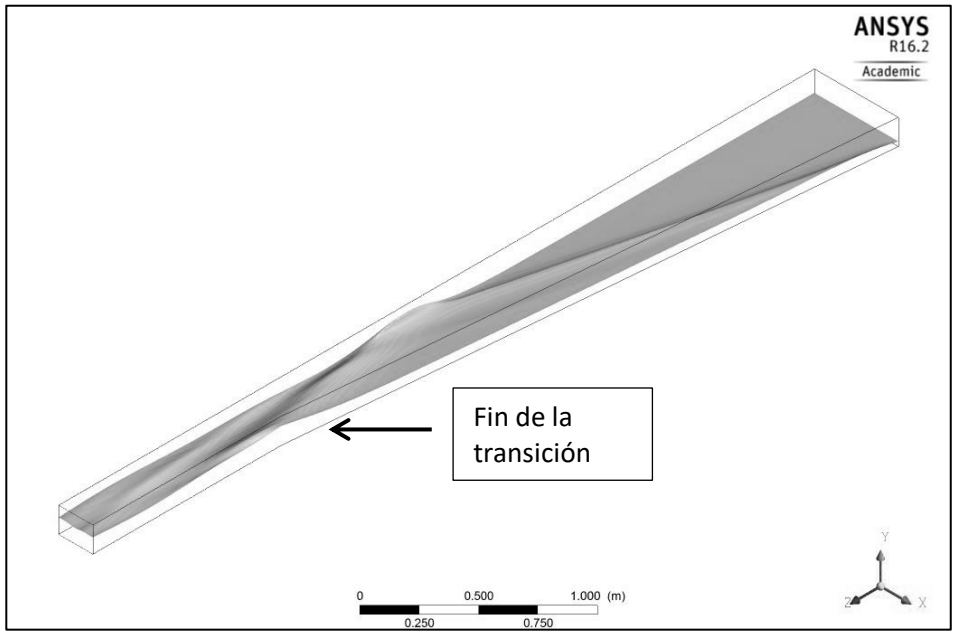


Figura 6: Simulación de ondas cruzadas en la mitad del ancho del canal. F1= 6,46 (Vista isométrica).

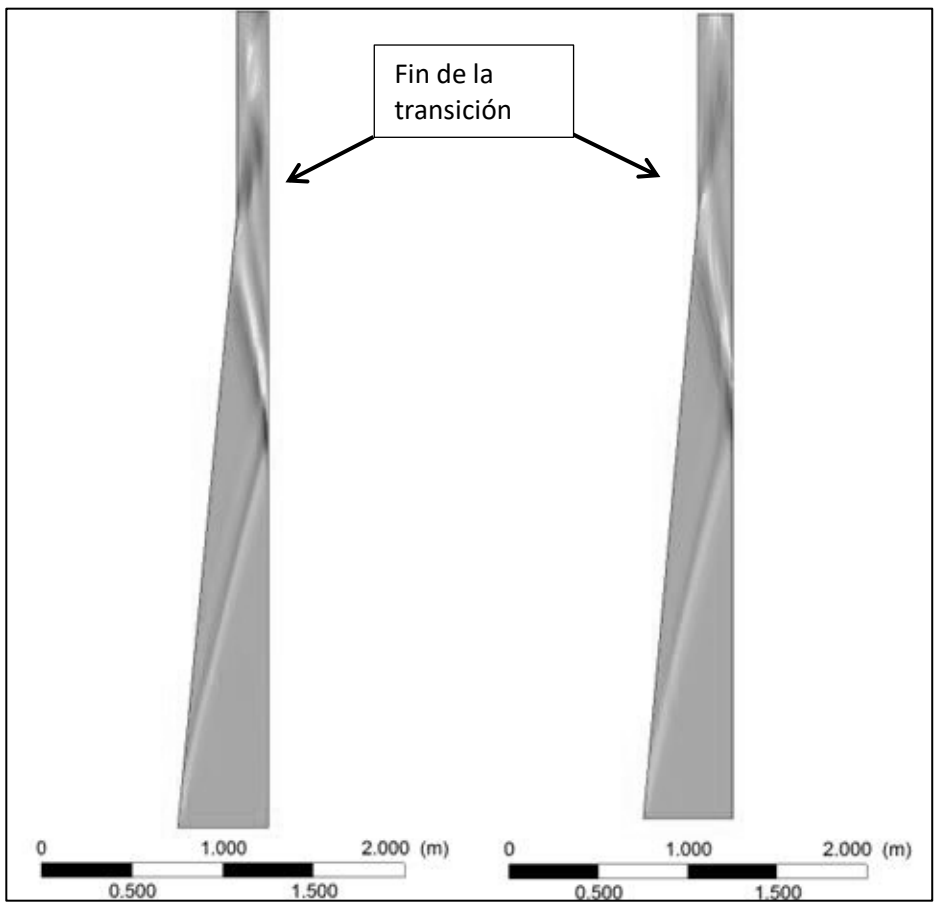


Figura 7: Simulación de ondas cruzadas en la mitad del ancho del canal. F1= 7,67 (Izquierda) y F1= 7,04 (Derecha).

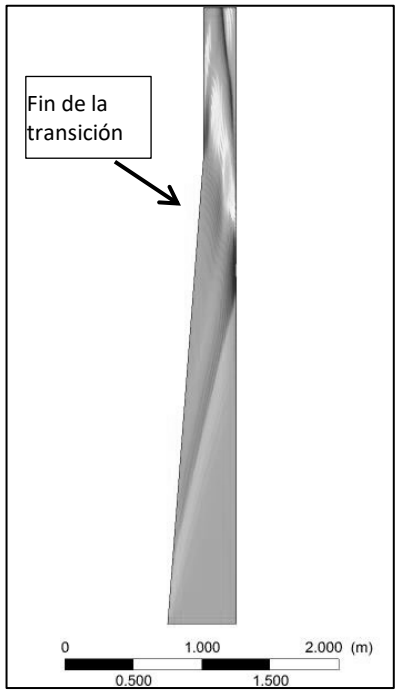


Figura 8: Simulación de ondas cruzadas en la mitad del ancho del canal. F1= 5,4.

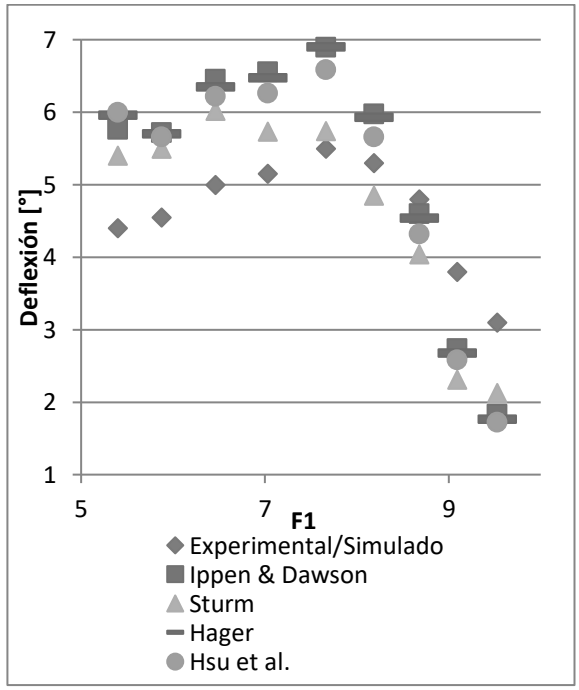


Figura 9: Deflexiones estimadas vs experimentales/simuladas.

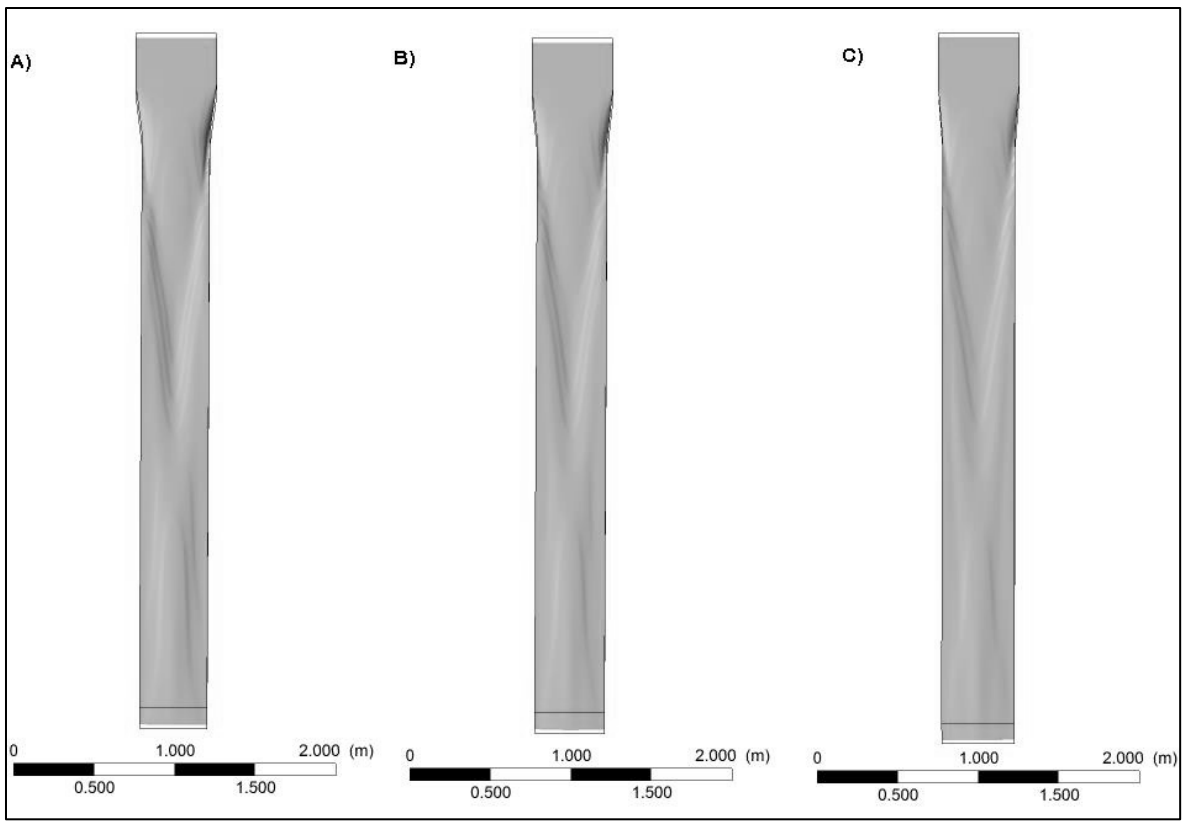


Figura 10: Patrón de ondas cruzadas para un flujo F1=3. A) Deflexión según Small Dams. B) Deflexión según Small Canals. C) Deflexión arbitraria menor.

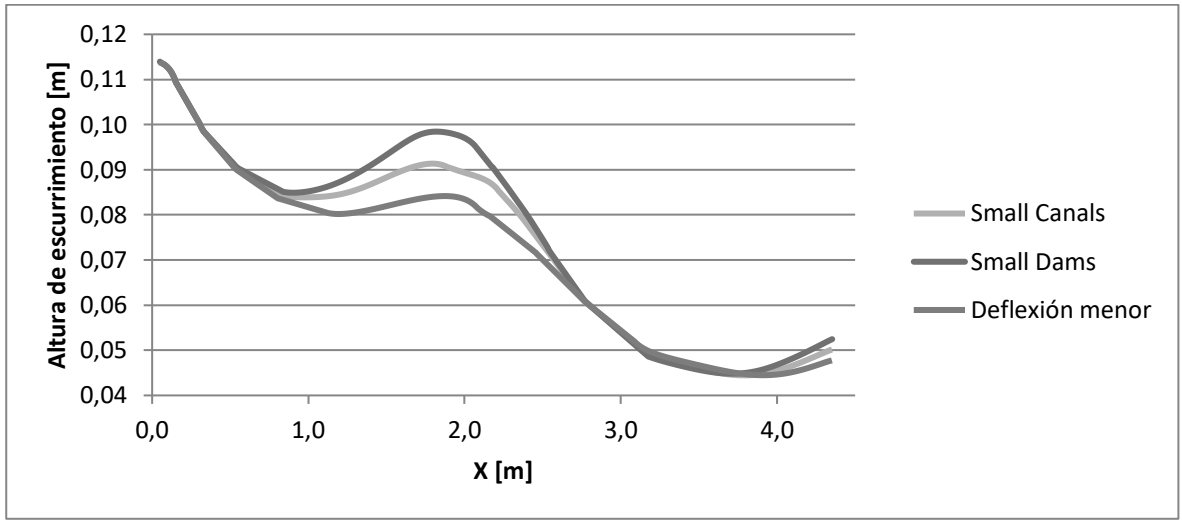


Figura 11: Eje hidráulico en el eje del canal para F1=3.

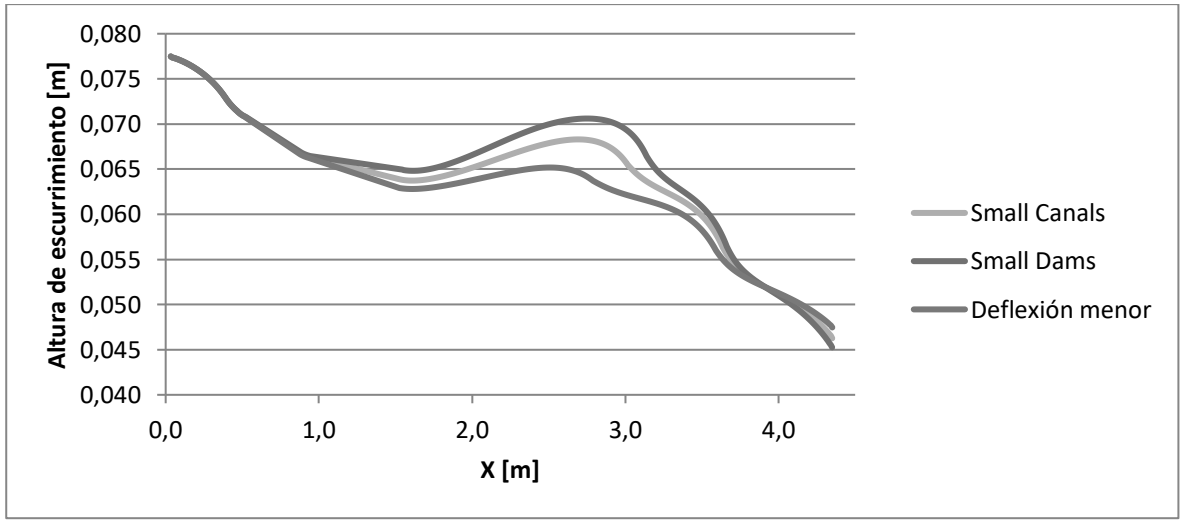


Figura 12: Eje hidráulico en el eje del canal para F1=6.

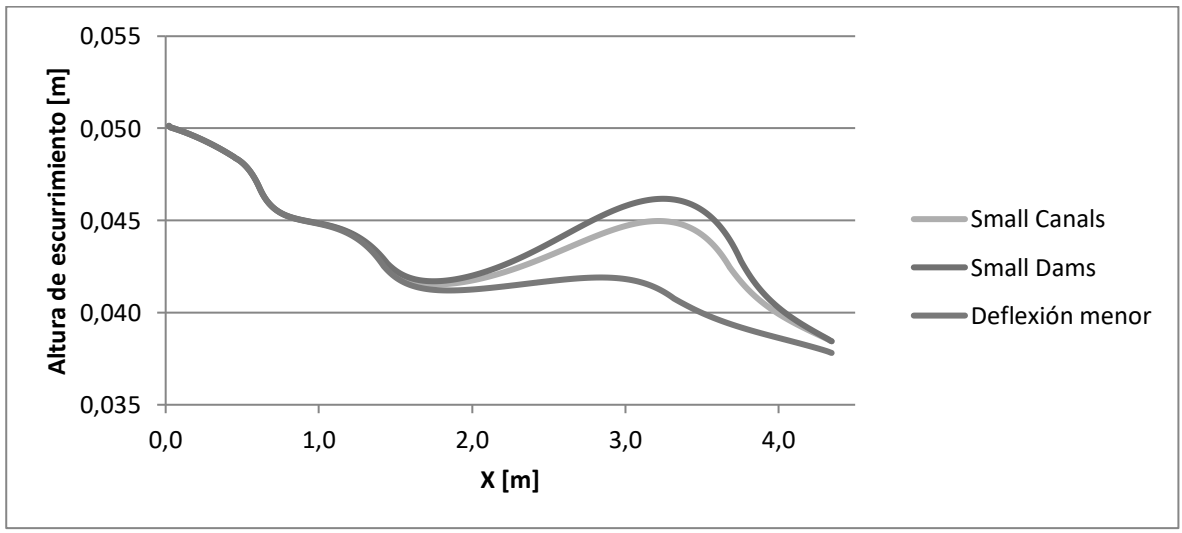


Figura 13: Eje hidráulico en el eje del canal para F1=9.

CONCLUSIONES

En las simulaciones realizadas se separó el análisis para canales horizontales y canales con pendiente, dado que los métodos o criterios de diseño existentes se pueden agrupar según estos casos. Dentro del análisis de los métodos empíricos para canales horizontales se obtuvo como resultado que éstos subestiman la altura media de escurrimiento al final de la transición, hasta en un 54% (con el método de Hsu et al., 2004), con respecto a la altura medida en las experiencias de Hager et al. (1987). En cambio, los valores obtenidos para la simulación numérica presentan un error máximo de un 5,3 %, entregando una aproximación mejor que los métodos analizados. Cabe destacar que para números de Froude menores a 6, los métodos empíricos entregan valores aproximados cercanos a los experimentales, lo cual se debe a que para números de Froude mayores el flujo se ve fuertemente gobernado por aceleraciones verticales, haciendo no efectivas las aproximaciones hechas por los métodos analíticos estudiados. Por lo tanto, la simulación numérica entrega resultados más cercanos a los experimentales al considerar conservación de momentum en las tres direcciones. Luego, resulta conveniente utilizar la modelación numérica para efectos de diseño de contracciones en canales supercríticos con números de Froude mayores a 6.

En el caso de los canales con pendiente se realizó un análisis para las expresiones propuestas por el USBR en sus textos Small Dams (1987) y Smal Canals (1978). En los resultados se obtuvo que en presencia de una contracción cualquiera, el flujo genera un patrón de ondas cruzadas aguas abajo de ésta. No obstante, para ángulos menores al límite explicitado por el texto Small Canals se verifica que la sobreelevación producida por la onda formada es menor, en especial para números de Froude mayores. Por lo tanto, la simulación numérica sigue la tendencia expuesta por estos textos, que si bien no se produce la ausencia de ondas cruzadas, el efecto de estas es inferior a si no se siguieran las recomendaciones del USBR.

REFERENCIAS

ANSYS, C. (2010). Release 13.0-Introduction to ANSYS FLUENT, Turbulence Modeling, Lecture 6. Canonsburg, PA, USA.

ANSYS, C. (2013). Release 15.0-User Manual. Canonsburg, PA, USA.

Argyropoulos, C. D., & Markatos, N. C. (2015). Recent advances on the numerical modelling of turbulent flows. Applied Mathematical Modelling, 39(2), 693-732.

Chow, V. T. (1960) Hidráulica de Canales Abiertos.

Hager, W. H., & Bretz, N. V. (1987). Discussion of "Simplified Design of Contractions in Supercritical Flow" by Terry W. Sturm (May, 1985, Vol. 111, No. 5). Journal of Hydraulic Engineering, 113(3), 422-424.

Hsu, M. H., Su, T. H., & Chang, T. J. (2004). Optimal channel contraction for supercritical flows. Journal of Hydraulic Research, 42(6), 639-644.

Ippen, A. T. (1950). Channel Transitions and Controls. Engineering Hydraulics, Proceedings of the Fourth Hydraulics Conference. Iowa Institute of Hydraulic Research. 12-15 June 1949. Edited by H. Rouse, Wiley, New York, Chapter VIII, 496-588.

Ippen, A. T., & Dawson, J. H. (1951). High-Velocity Flow in Open Channels: A Symposium: Design of Channel Contractions. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 116(1), 326-346.

Ippen, A. T., & Harleman, D. R. (1956). Verification of theory for oblique standing waves. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 121(1), 678-694.

Mery, H. (2013). Hidráulica aplicada al diseño de obras. Ril Editores.

Reinauer, R., & Hager, W. H. (1998). Supercritical flow in chute contraction. Journal of hydraulic Engineering, 124(1), 55-64.

Sturm, T. W. (1985). Simplified design of contractions in supercritical flow. Journal of Hydraulic Engineering, 111(5), 871-875.

US Departament of the Interior, Bureau of Reclamation. (1978). Design of Small Canal Structures. Denver, Colorado, USA.

US Departament of the Interior, Bureau of Reclamation. (1987). Design of Small Dams. Washington, DC, USA.

Wilcox, D. (2006). Turbulence Modelling for CFD. third ed. DCW Industries, Inc.

¿QUÉ HACER CON LAS AGUAS LLUVIAS?

Rodrigo Caro Cordero[1]

RESUMEN

La actual legislación chilena sobre aguas lluvias (ley N°19.525 publicada el año 1997) hace responsable al Estado de velar porque existan sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias que permitan su fácil escurrimiento y disposición e impidan los daños que ellas pueda causar a las personas, a las viviendas y a la infraestructura urbana.

La creciente demanda de agua para diferentes usos y la sequía durante la última década han agudizado los problemas de escasez hídrica en amplias zonas de nuestro país. Por otro lado, existen numerosas experiencias internacionales y, también en Chile, que muestran que los sistemas de Captación, Acumulación y Uso (CAU) de aguas lluvias son una alternativa viable para aumentar la oferta de agua para diferentes usos: agua potable para uso domiciliario, agua para agricultura y ganadería, recarga de acuíferos, etc.

Este artículo plantea un cambio de enfoque en el manejo y gestión de las aguas lluvias, pasando del objetivo único y tradicional de evitar inundaciones a un concepto de objetivos múltiples que incluyen el uso del agua de lluvia, el manejo mejorado de la calidad del agua que escurre superficialmente, la protección de los ecosistemas y el mejoramiento de la calidad de vida de barrios y comunidades. En otras palabras, las aguas lluvias deben ser consideradas como un recurso natural que tiene valor y no como un producto desechable cuya conducción y descarga trae consigo un costo que ha ido creciendo sistemáticamente.

Los sistemas CAU de aguas lluvias son escalables y su diseño, en particular el depósito de acumulación, se debe adaptar a las condiciones hidrológicas y climatológicas imperantes en la zona donde se materialicen. El beneficio económico fundamental de estos sistemas es una función del volumen de agua que se puede ahorrar y del precio que se pagaría por dicha agua.

[1] Ingeniero Civil PUC, MS The University of Iowa.

1. ANTECEDENTES

La introducción de lineamientos o políticas para el manejo de las aguas lluvias es un tema relativamente nuevo en Chile. Los primeros sistemas de alcantarillado construidos en Santiago y otras ciudades de Chile fueron diseñados para recolectar solamente aguas servidas provenientes de reducidas áreas urbanas.

Con el paso del tiempo, el diseño de los colectores de alcantarillado fue incorporando una componente de aguas superficiales provenientes de las precipitaciones, lo cual dio origen al concepto de alcantarillado unitario. Un buen ejemplo de alcantarillado unitario es el existente en el centro de Santiago, que fue diseñado por ingenieros franceses a principios del siglo XX. Sin embargo, la necesidad ambiental de ir avanzando en el tratamiento de las aguas servidas antes de su disposición final, ha significado ir desechando el concepto de alcantarillado unitario y remplazarlo por el de alcantarillado separado de aguas servidas y de aguas lluvias. De esta manera, las aguas servidas son conducidas a plantas de tratamiento y las aguas lluvias a cauces naturales o a la infiltración.

El crecimiento de las áreas urbanas de las ciudades ha traído un incremento de las áreas impermeables, con el consiguiente aumento de la escorrentía superficial generada por las precipitaciones. Para eventos de cierta magnitud, esta escorrentía se traduce en considerables caudales que provocan desbordes de cauces, canales, colectores, calles y vías naturales de evacuación, con las consiguientes inundaciones de extensas áreas urbanas.

Con la normativa legal generada en Chile en 1988, se creó la actual organización de empresas sanitarias – una por región – cuyo encargo es la producción y distribución de agua potable y la recolección, tratamiento y disposición de las aguas servidas. Como resultado de lo anterior, se generó un vacío legal ya que dicha normativa indica que la recolección y evacuación de aguas lluvias en ningún caso puede ser efectuado por las referidas empresas sanitarias, pero deja sin establecer a quien corresponde.

La ley N°19.525, publicada el año 1997, vino a solucionar en parte el mencionado vacío legal ya que hace responsable al Estado de velar porque *"existan sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias que permitan su fácil escurrimiento y disposición e impidan los daños que ellas pueda causar a las personas, a las viviendas y, en general, a la infraestructura urbana"*. La ley señala que el Ministerio de Obras Públicas (MOP) desarrollará planes maestros en ciudades de más de 50.000 habitantes, en los cuales se definirá lo que constituye la red primaria, la cual estará a cargo del MOP. El resto de las redes, no contempladas dentro de la definición de red primaria, constituirán, por exclusión, la red secundaria, que estará a cargo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

2. ESCASEZ HIDRICA Y CAMBIO CLIMÁTICO

La creciente demanda de agua, que se ha duplicado en los últimos 25 años; el deterioro e insuficiencia de la infraestructura y la disminución de las precipitaciones y de la masa de glaciares por efectos del cambio climático han traído como consecuencia un severo problema de escasez hídrica en algunas, cada vez más numerosas, zonas del país.

La intensa sequía que ha sufrido nuestro país durante la última década se ha visto agudizada durante el año 2018, que se ha caracterizado por precipitaciones bajo lo normal en la mayor parte del territorio. La Dirección General de Aguas - DGA ha firmado 8 decretos de escasez hídrica que incluyen provincias y comunas entre la IV (Coquimbo) y la VII Región (Maule). En febrero 2018, la DGA informó que un total de 61 comunas estaban afectadas por escasez de agua, abarcando un total de 2.617.934 habitantes, equivalentes al 14,89% de la población del país. El problema de escasez hídrica no se limita a las regiones del norte y centro-sur del país. En los numerosos decretos de escasez hídrica firmados por la DGA a partir del 2008, también se han visto afectadas comunas ubicadas en las regiones de Biobío, Los Lagos y Aysén.

La situación anterior ha traído como consecuencia que exista familias y comunidades, particularmente en el sector rural, que no tienen acceso a un abastecimiento seguro de agua para el consumo humano y tampoco, para animales y actividades agrícolas de subsistencia.

La superación de estos graves problemas de escasez hídrica requiere de una visión sistémica que aborde el marco jurídico de los recursos hídricos, la adecuación de la institucionalidad pública para la eficiente gestión de los recursos hídricos escasos y la implementación de diversas obras de infraestructura, entre las que se debe incluir la desalación de agua de mar, la reutilización de las aguas servidas y la captación y aprovechamiento de las aguas lluvias. El foco de atención de este artículo se centra en este último aspecto, esto es, la captación y aprovechamiento de las aguas lluvias.

3. EXPERIENCIAS DE APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS LLUVIAS.

El aprovechamiento de las aguas lluvias (*rainwater harvesting*) es una práctica antigua. Diferentes culturas han utilizado esta tecnología para usos domésticos y agrícolas. En Filipinas se ha utilizado por miles de años el agua de la lluvia para las terrazas de cultivo del arroz. También en India y en Tailandia el aprovechamiento de las aguas lluvias se remonta a miles de años atrás. Antiguas cisternas que acumulan el agua lluvia se pueden ver hoy día en las islas de Capri y Malta.

La cisterna más grande que se conoce es Yerebatan Sarayi (80.000m^3) que está ubicada en Estambul y que fuera construida por el emperador Justiniano en el año 527 DC. Binbirdik es otra cisterna ubicada en Estambul y que fue construida por el emperador Constantino en el año 389 DC.

El uso del agua de lluvia, que fue exitoso en el pasado, fue declinando con el paso del tiempo. El incremento del tamaño de las ciudades y el consiguiente proceso de urbanización hizo necesario contar con un sistema de agua centralizado, basado en captaciones de agua superficial o subterránea, conducción a través de cañerías de gran diámetro y distribución a nivel de casas, edificios e industrias. Sin embargo, en los tiempos modernos y debido tanto a las constantes sequías como a la polución, el aprovechamiento de las aguas lluvias se ha vuelto a poner en práctica.

En áreas urbanas, el uso de las aguas lluvias está principalmente ligado al riego de jardines y al uso doméstico (agua para WC, lavado de autos, etc.). En un documento de la ciudad de Nueva York [1], se reporta que 35 sistemas de recolección de agua de lluvia en Nueva York colectan 1.600.000 litros de agua cada año, los cuales son usados para riego de jardines. Otras experiencias similares se dan en Seattle, Kansas City, Portland (Oregon), Maplewood (Minnesota), Chicago, Austin, San Diego, Vancouver y Toronto.

Debido a las condiciones producidas por el cambio climático en los últimos años, la captación de aguas lluvia está tomando una gran importancia en áreas rurales y especialmente en países con zonas áridas, donde es necesario garantizar el acceso al abastecimiento de agua a través de todas las formas posibles y, una de éstas, son las aguas lluvias.

Australia encabeza a nivel mundial el desarrollo de los sistemas de Captación, Acumulación y Uso (CAU) de las aguas lluvias, mediante políticas de aprovechamiento, en conjunto con incentivos tributarios y conciencia ambiental. Países como China, Japón, Indonesia, Alemania, España, Francia, Nigeria, Zambia, Kenia y Sudáfrica también han logrado experiencias exitosas relacionadas a la normativa exclusiva del uso de esta práctica.

El documento "*Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia en América Latina, Experiencias y Conclusiones de un debate*" [2] presenta los resultados del Seminario Internacional sobre Sistemas de Captación de Aguas lluvias realizado en Santiago en noviembre de 2014. En dicho seminario se expusieron experiencias habidas en México, Brasil, El Salvador y Chile.

En el caso de Chile, las experiencias con sistemas CAU están dirigidas fundamentalmente a enfrentar la escasez de agua en la pequeña agricultura. El documento "*Técnicas de Captación, Acumulación y Aprovechamiento de Aguas Lluvias, Boletín INIA N°321*" [3] describe las experiencias en las regiones de O'Higgins, del Maule y de La Araucanía y

contiene una guía con las formas de captación de las aguas lluvias.

4. TECNICAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA.

La mayoría de las técnicas de captación de lluvia tiene un origen empírico y han sido desarrolladas a lo largo del tiempo a partir de las civilizaciones ancestrales de América Central y Sudamérica y de otras regiones del mundo. Gracias al aporte de instituciones, dichas técnicas se han ido perfeccionando y actualmente existe una gran variedad, que cumplen diferentes finalidades y se adaptan a diferentes situaciones.

Por técnica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia se entiende la práctica (obra o procedimiento técnico) capaz de:

- Aumentar la disponibilidad de agua en una propiedad, rural o urbana, para uso doméstico, animal o vegetal.
- Incrementar la infiltración.
- Regular total o parcialmente la escorrentía superficial.

En áreas urbanas, los sistemas CAU están compuestos básicamente por los siguientes componentes:

- Superficie de captación (generalmente los techos de las viviendas).
- Sistema de conducción (canales y tuberías).
- Interceptor de primeras aguas (filtro).
- Depósito de almacenamiento.
- Sistema de distribución.

En informes de FAO [4] y UNESCO [5], orientados a las zonas rurales, las técnicas de captación de aguas lluvias se agrupan en las siguientes modalidades:

- Microcaptación: en áreas lisas, con pendiente y poco permeables, la escorrentía superficial que se genera es captada dentro del propio terreno de cultivo, en áreas contiguas al área sembrada o plantada, para hacerla infiltrar y ser aprovechada por los cultivos. También es denominada como captación *in situ*.

- Macrocaptación: se genera una escorrentía superficial de mayor magnitud en áreas ubicadas contiguas al cultivo (macrocaptación interna) o apartadas del área de cultivo (macrocaptación externa) para hacerla infiltrar en el área de cultivo y ser aprovechada por las plantas. El agua captada puede también ser utilizada para abastecer estructuras de almacenamiento, como estanques o embalses temporales, para diferentes finalidades.

- Cosecha de agua de techos y otras estructuras impermeables: esta es la modalidad más conocida y difundida de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas y establos, patios de tierra batida, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plástico. La captación de agua de techos es la que permite obtener el agua de mejor calidad para consumo doméstico.

Los sistemas de captación de agua de techo tienen básicamente tres componentes: superficie de captación, sistema de conducción y depósito de almacenamiento. En el diseño de la instalación, se debe tener presente que el agua lluvia suele ser captada durante los meses lluviosos y que debe conservarse para ser utilizada durante los meses secos. En consecuencia, a los componentes anteriormente mencionados es necesario agregar algún sistema de tratamiento.

Para calcular el agua recogida durante un evento de precipitación se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$AR = F * P * S$$

Donde
AR: agua recogida, en litros.
F: factor de aprovechamiento, el cual depende del tipo de superficie y puede variar de 0,6 a 0,9.
P: altura de precipitación del evento (o de los eventos), en mm.
S: superficie de la cubierta impermeable, en m^2.

En Chile, el agua que es posible captar y acumular es altamente variable y depende del régimen de precipitaciones de la zona donde se ubique el sistema. Para tener una idea cuantitativa, se han tomado como ejemplos de cubiertas de techo de 100 m^2 ubicada en las ciudades de Santiago y Temuco. Se acepta que sólo los eventos de precipitación mayores que 5 mm producen un volumen de agua realmente factible de acumular. En un año de hidrología "normal", se ha supuesto que en Santiago la precipitación anual aprovechable es 200 mm y, en Temuco, 800 mm.

Aplicando la fórmula anterior se tiene:
Santiago: AR = 0,7 * 200* 100 = 14.000 litros
Temuco: AR = 0,7 * 800* 100 = 56.000 litros

Considerando que, en promedio, una persona consume 150 l/día, este volumen equivaldría a su consumo de 90 días (3 meses) en Santiago y 365 días (1 año) en Temuco. Los valores anteriores demuestran que las aguas lluvias constituyen un recurso hídrico que debe ser complementado por otros sistemas de abastecimiento.

5. UN NUEVO ENFOQUE EN EL MANEJO DE LAS AGUAS LLUVIAS

Siguiendo la literatura técnica internacional, el concepto de gestión de las aguas lluvias, tanto desde el punto de vista de la cantidad como de la calidad, ha tenido una rápida evolución en las últimas décadas. En un principio, el objetivo principal era drenar rápidamente las calles y conducir los caudales al cauce receptor más cercano. Sin embargo, el desarrollo urbano de las ciudades ha traído aparejado un incremento sustancial de las áreas impermeables, afectando profundamente la forma cómo el agua se mueve sobre y bajo la superficie, la calidad de las aguas lluvias y la condición final de los cauces receptores. Esta progresiva impermeabilización de los suelos de las ciudades ha significado un importante aumento de la escorrentía superficial y, por ende, del tamaño de las obras de infraestructura que conducen las aguas lluvias hacia el cauce receptor. Esta práctica se ha ido haciendo prohibitiva desde el punto de vista de los costos, lo cual ha motivado una evolución hacia prácticas de retención o detención del agua.

En una fase posterior, en varios países desarrollados surgieron nuevas exigencias en el manejo de las aguas lluvias, en el sentido de no sólo limitar el posible daño a las propiedades como resultados de las inundaciones, sino que también controlar la calidad de las aguas que llegan a los cauces receptores. La urbanización de las ciudades, junto con la pavimentación de los suelos, trae consigo la introducción de nuevas fuentes de polución como son los vehículos, los animales domésticos y las industrias. Las avenidas, las calles y las playas de estacionamiento constituyen el mayor porcentaje de áreas impermeables en el paisaje urbano. En ciudades con baja precipitación, las calles y avenidas tienden a capturar y exportar más agentes de polución que otras cubiertas de suelo y son las que producen las primeras escorrentías en los colectores y en las descargas a los cauces receptores.

El deterioro ambiental y la escasez de agua son factores fundamentales que están influyendo en un cambio de visión en el manejo de las aguas lluvias, las cuales no deben ser un producto desechable cuya conducción y descarga trae consigo un costo, sino que deben ser consideradas como un recurso natural que tiene un valor [6]. En síntesis, el nuevo enfoque en el manejo de las aguas lluvias debe estar basado en el principio que las aguas lluvias son un recurso, que debe ser aprovechado en el lugar donde se genera.

Basados en los conceptos del ciclo hidrológico, el nuevo enfoque de gestión de las aguas lluvias debe considerar sistemas que, separados de las aguas servidas, utilicen variadas técnicas de manejo de las precipitaciones y del uso del suelo, todas las cuales deben tender a controlar la cantidad y calidad de la escorrentía, tan cerca de la fuente como sea posible. Los nuevos sistemas de aguas lluvias deben ser capaces de capturar el primer flujo de las tormentas grandes o todo el volumen de las tormentas pequeñas, para recibir un tratamiento antes de ser conducidas a los sistemas colectores ubicados dentro o aguas abajo de las ciudades, reduciendo así los impactos del incremento de la escorrentía y de la presencia de contaminantes en los cuerpos receptores.

En el nuevo enfoque de manejo de las aguas lluvias, las medidas propuestas deben estar orientadas a la intercepción de las aguas lluvias, al incremento de la infiltración y a la regulación total o parcial de la escorrentía superficial.

Para los sectores urbanos, las técnicas más usuales son las siguientes:
- Captación de aguas lluvias de los techos.
- Obras de infiltración: entre los muchos tipos de elementos de infiltración que pueden emplearse, se incluyen los pavimentos porosos, los pavimentos celulares, los estanques, las zanjas y los pozos de infiltración.
- Obras de almacenamiento: son obras que captan el flujo superficial de canales y colectores y lo almacenan temporalmente, ya sea para utilizarlo o para descargarlo hacia aguas abajo durante tiempos más prolongados. Como obras de almacenamiento se consideran estanques y lagunas. Los estanques están normalmente vacíos y se llenan de agua sólo durante las lluvias. Las lagunas tienen normalmente un espejo de agua y se ocupa la parte superior para almacenar las aguas lluvias.

Dentro de las medidas de carácter local orientadas a las zonas rurales, se pueden considerar las siguientes:
-Microcaptación: técnica que consiste en facilitar la infiltración del agua de escorrentía y acumularla en el perfil del suelo. También denominada captación *in situ.*
-Macrocaptación: similar a lo anterior, pero en áreas más extensas.
-Captación de agua de techo y otras áreas de escurrimiento.

6. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

En la literatura técnica se reconoce que el beneficio económico fundamental de los sistemas CAU es una función de la cantidad de agua que se puede ahorrar y del precio que se pagaría por dicha agua. En el ahorro de agua, influyen dos variables fundamentales: la cantidad y distribución de la precipitación anual y el tamaño del estanque de acumulación. Ciertamente que las localidades con mayor precipitación representan los escenarios económicos más favorables para los sistemas CAU.

En un estudio realizado para la ciudad de Temuco [7], cuya precipitación media anual es 1.200 mm, se considera la implementación de un sistema CAU para una vivienda de 76 m^2. Como conclusión del estudio se señala que la alternativa más rentable es la materialización de un sistema CAU destinado al consumo externo del agua, esto es, riego de jardín y lavado de autos, ya que no se necesita contar con equipos sofisticados de limpieza del agua y se puede cubrir el total de la demanda. Considerando la inversión inicial y el precio del agua en dicha ciudad (año 2012), el período de amortización es 29 años y 8 meses. Si se considera el uso de agua para inodoros y lavado de ropa, entonces se puede cubrir aproximadamente el 58% de la demanda y el período de amortización es 31 años.

El modelo de evaluación económica utilizado en un estudio orientado a la región de Sicilia [8], con una precipitación anual que varía espacialmente entre 400 mm y 1.300 mm, indica que los sistemas CAU muestran buenos indicadores cuando se tiene un área de captación de 200-300 m^2 y el agua es destinada exclusivamente al uso en inodoros.

En el sector rural [9], los beneficios de los sistemas CAU están vinculados al mejoramiento del rendimiento de las cosechas y al cultivo de productos de mayor valor económico, ya que la escasez de agua es superada con el riego complementario que suministran estos sistemas.

La gran mayoría de los análisis económicos muestran que, en las áreas urbanas, los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias deben ser considerados como un complemento al sistema tradicional de abastecimiento de agua y que su beneficio económico será creciente en la medida que el precio del agua siga incrementándose. En los sectores rurales que carecen de otras fuentes de agua, la importancia de los sistemas CAU es aún mayor ya que es fuente de agua para el consumo humano, ganadería y riego de plantaciones.

7. CONCLUSIONES

* La creciente demanda de agua, que se ha duplicado en los últimos 25 años; el deterioro e insuficiencia de la infraestructura y la disminución de las precipitaciones y de la masa de glaciares por efectos del cambio climático han traído como consecuencia un severo problema de escasez hídrica en algunas, cada vez más numerosas, zonas de nuestro país.

* La superación de estos graves problemas de escasez hídrica requiere de una visión sistémica que aborde el marco jurídico de los recursos hídricos, la adecuación de la institucionalidad pública para la eficiente gestión de los recursos hídricos escasos y la implementación de diversas obras de infraestructura, entre las que se deberían incluir la desalación de agua de mar, la reutilización de las aguas servidas y la captación y aprovechamiento de las aguas lluvias.

* Existen numerosas experiencias internacionales y, también en Chile, que muestran que los sistemas de Captación, Acumulación y Uso (CAU) de aguas lluvias son una alternativa viable para aumentar la oferta de agua para diferentes usos: agua potable para uso domiciliario, agua para agricultura y ganadería, recarga de acuíferos, etc.

* La actual legislación sobre aguas lluvias (ley N°19.525 publicada el año 1997) hace responsable al Estado de velar porque existan sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias que permitan su fácil escurrimiento y disposición e impidan los daños que eventualmente pueden causar en su paso por la ciudad. La ley hace responsable al Ministerio de Obras Públicas (MOP) en el desarrollo de planes maestros en ciudades de más de 50.000 habitantes, pero ignora totalmente el posible aprovechamiento de las aguas lluvias como un recurso hídrico adicional.

* El deterioro ambiental y la escasez de agua son factores fundamentales que están influyendo en un cambio de visión en el manejo de las aguas lluvias, las que no deben ser un producto desechable, cuya conducción y descarga trae consigo un costo, sino que deben ser consideradas como un recurso natural que tiene un valor. En síntesis, el nuevo enfoque en el manejo de las aguas lluvias debe estar basado en el principio fundamental que las aguas lluvias son un recurso, que debe ser aprovechado en el lugar donde se genera. Se debe transitar desde un objetivo único y tradicional de prevenir inundaciones a un concepto de objetivos múltiples que incluyen el reuso del agua, el manejo mejorado de la calidad del agua, la protección de los ecosistemas y el mejoramiento de la calidad de vida de barrios y comunidades.

* Los sistemas CAU de aguas lluvias son escalables y su diseño se debe adaptar a diferentes condiciones hídricas y climatológicas. Para esto es necesario conocer el régimen de precipitaciones y los requisitos de cantidad y calidad del agua. Las ventajas de los sistemas CAU se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Aumentan la oferta de agua para los diferentes usos, en forma gratuita.
- El agua lluvia es de buena calidad y contiene un bajo nivel de sales.
- Se reduce la escorrentía generada después de una tormenta, lo que significa disminuir la erosión del suelo en las zonas rurales y disminuir el tamaño de colectores y otras obras civiles que son propias de la infraestructura urbana.

* El beneficio económico fundamental de los sistemas CAU es una función de la cantidad de agua que se puede ahorrar y del precio que se pagaría por dicha agua. Por este motivo, un diseño adecuado del depósito de acumulación resulta fundamental de modo que con el ahorro de agua se logre recuperar el costo de inversión de las obras.

8. REFERENCIAS

[1] GrowNYC, Rainwater Harvesting 101, 2008.

[2] PNUD /Ministerio del Interior y Seguridad Pública / Unión Europea, Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia en América Latina Experiencias y Conclusiones de un debate, 2016.

[3] Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Técnicas de captación, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias, Boletín INIA n° 321, 2016.

[4] Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Captación y Almacenamiento de Agua de lluvia, Opciones Técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe, 2013.

[5] Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América latina y el Caribe, Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile, PHI-VIII / Documento Técnico N° 36, 2015.

[6] Department of Water Government of Western Australia, Stormwater Management Manual for Western Australia, 2004.

[7] G.Lira Departamento Ingeniería de Obras Civiles Universidad de La Frontera, Reciclaje de aguas lluvias para uso en viviendas, 2012.

[8] Vincenza Notaro et al, Reliability Analysis of Rainwater Harvesting Systems in Southern Italy, Procedia Engineering 162, 2016

[9] Rozaki et al, Feasibility and Adoption of Rainwater Harvesting by Farmers, Reviews in Agricultural Science, 5:56-64,2017

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

AGUAS NUEVAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ARCADIS CHILE S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CÍA. GENERAL DE ELECTRICIDAD S.A.

CÍA. DE PETRÓLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CRUZ Y DÁVILA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.

EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.

EMPRESAS CMPC S.A.

ENAEX S.A.

ENEL GENERACIÓN CHILE S.A.

FLUOR CHILE S.A.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.

JAIME ILLANES Y ASOCIADOS CONSULTORES S.A.

MINERA ESCONDIDA LTDA.

MINERA LUMINA COPPER CHILE S.A.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

SUEZ MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

SYNEX INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

En Bci te escuchamos, innovamos,
creamos y te invitamos a
hacer juntos tu vida más simple.

Accesible MACH PRIMER CRÉDITO HIPOTECARIO ONLINE CUENTA CORRIENTE ONLINE Programa NACE Apoyo al Emprendimiento

Cámbiate a Bci

BancoBci

Infórmese sobre la garantía estatal de los depósitos en su banco o en www.sbif.cl

Bci
seamosdiferentes