

Revista Chilena de

INGENIERIA

ISSN 0370 - 4009 - N° 492 - Abril 2021



Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 133, 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 American Society of Civil Engineers (ASCE)

JUNTA EJECUTIVA

Presidente

Ricardo Nicolau del Roure G.

Primer Vicepresidente

Luis Nario Matus

Segundo Vicepresidente

Carlos Mercado Herreros

Tesorera

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Protesorero

Jorge Pedrals Guerrero

Secretaria

Ximena Vargas Mesa

Prosecretario

Germán Millán Valdés

DIRECTORIO 2021

Elías Arze Cyr

Dante Bacigalupo Marió

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Juan E. Cannobbio Salas

Juan E. Castro Cannobbio

Alex Chechilnitzky Zwicky

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Raúl Demangel Castro

Álvaro Fischer Abeliuk

Rodrigo Gómez Álvarez

Mauro Grossi Pasche

Cristian Hermansen Rebolledo

Mario Letelier Sotomayor

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Valdés

Marcela Munizaga Muñoz

Juan Music Tomicic

Ricardo Nanjarí Román

Luis Nario Matus

Ricardo Nicolau del Roure G.

José Orlandini Robert

Jorge Pedrals Guerrero

Humberto Peña Torrealba

Luis Pinilla Bañados

Daniela Pollak Aguiló

Luis Valenzuela Palomo

Ximena Vargas Mesa

René Vásquez Canales

Jorge Yutronic Fernández

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA
DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA
ANTISÍSMICA, **ACHISINA**.

Presidente: Rodolfo Saragoni H.

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

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA, **SOCHID**.

Presidente: José Vargas B.

SOCIEDAD CHILENA
DE GEOTECNIA, **SOCHIGE**.

Presidente: Gonzalo Montalva A.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
DE TRANSPORTE, **SOCHITRAN**.

Presidenta: Carolina Palma A.

PMI SANTIAGO CHILE CHAPTER.

Presidente: Alfonso Barraza San M.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN
EN INGENIERÍA, **SOCHEDI**.

Presidente: Raúl Benavente G.

COMISIONES DEL INSTITUTO

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL
Y EL BIG DATA.**

Presidente: Juan Carlos Barros M.

**INGENIEROS EN LA HISTORIA
PRESENTE.**

Presidente: Ricardo Nanjarí R.

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

Presidente: Ricardo Nicolau del Roure G.

PROSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA.

Presidente: Jorge Yutronic F.

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

Presidente: Jorge Pedrals G.

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Bruno Behn Theune

Sergio Bitar Chacra

Mateo Budinich Diez

Juan Enrique Castro Cannobbio

Jorge Cauas Lama

Joaquín Cordua Sommer

Luis Court Mook

Alex Chechilnitzky Zwicky

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Agustín León Tapia

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

Rodolfo Saragoni Huerta

Mauricio Sarrazin Arellano

Raúl Uribe Sawada

Luis Valenzuela Palomo

Solano Vega Vischi

Hans Weber Münnich

Andrés Weintraub Pohorille

Jorge Yutronic Fernández



Nuestra portada

La epidemia de Covid-19 ha afectado a la humanidad entera, sin distinción alguna. La Medicina, la Ciencia, la Tecnología y, por cierto, la Ingeniería, enfrentan un desafío de gran magnitud. Tengamos esperanza. (Fotografía de portada: Anna Shvets, pexels.com).

REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA N° 492, abril de 2021

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

DIRECTOR

Raúl Uribe S.

CONSEJO EDITORIAL

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

REPRESENTANTE LEGAL

Ricardo Nicolau del Roure G.
Dirección: San Martín N° 352, Santiago

SECRETARIO GENERAL

Carlos Gauthier T.

SECRETARÍA

Patricia Núñez G.

DIAGRAMACIÓN

versión productora gráfica SpA

EDITORIAL

Pág. 2

FORO “CHILE ANTE UN DOBLE DESAFÍO: SANITARIO Y DESEMPLEO”

Pág. 3

Panelistas: Sres. Sergio Bitar, Luis Valenzuela
y Ricardo Bitrán.

FORO “EL ESTADO, SU EFICIENCIA, SU ROL Y SUS DESAFÍOS FUTUROS”

Pág. 19

Panelistas: Sres. Guillermo Larraín,
Patricio Meller y Mauricio Villena.

ENTREVISTA

A INGENIEROS DESTACADOS

Pág. 42

– Sra. Marcela Munizaga Muñoz
– Sr. Andrés Weintraub Pohorille
Comisión de Ingenieros en la Historia Presente
Presidente: Ricardo Nanjarí R.

IN MEMORIAM DE JORGE LÓPEZ BAIN

Pág. 48

En el segundo semestre de 2020, el Instituto de Ingenieros de Chile ofreció dos Conferencias por vía digital, centradas en problemas presentes y futuros de nuestra sociedad. La primera de ellas, “**El Estado, su eficiencia, su rol y sus desafíos futuros**”, fue presentada por los destacados economistas señores Guillermo Larraín, Patricio Meller y Mauricio Villena, y don Ascanio Cavallo, como moderador.

Patricio Meller se refirió a las perspectivas de largo plazo del desarrollo económico chileno, recorriendo la historia económica de los últimos 140 años. En su presentación, hizo una revisión de la estrategia de desarrollo y de los roles que en ella jugó el Estado y el Mercado, conforme a los diferentes modelos económicos de los regímenes políticos que gobernaron el país. Al concluir su análisis, fue más allá de los aspectos históricos y se centró en el rol del Estado y en las ventajas comparativas de una adecuada alianza público-privada.

Guillermo Larraín, por su parte, hizo una detallada presentación relacionada con la eficiencia del Estado Chileno en los últimos 30 años. Su relato se basa en su extensa actividad académica y profesional, tanto pública como privada. Manifestó su convicción de que el futuro económico chileno, en un plazo muy largo, pasa por esa alianza público-privada, pero que para ello se requiere crear una condición habilitante, con un Estado Eficiente.

Mauricio Villena dictó una charla sobre la Regla Fiscal en Chile y nuestra capacidad de enfrentar desafíos, explicando que dicha Regla consiste en ahorrar parte de los ingresos que recibe el Estado, cuando es posible no utilizarlos totalmente, para ocuparlos posteriormente cuando se produce una crisis económica. Concluyó con un análisis de lo que ha ocurrido con la Regla Fiscal en tiempos de pandemia y las proyecciones al 2022 -2025, escenario post pandemia, e incluyó su visión sobre lo que estima podría provenir con la nueva Constitución.

La segunda Conferencia, “**Chile ante un doble desafío: Sanitario y desempleo**”, que contó con la participación de los destacados ingenieros civiles señores Sergio Bitar, Ricardo Bitrán y Luis Valenzuela, moderada por la Sra. Paula Vargas.

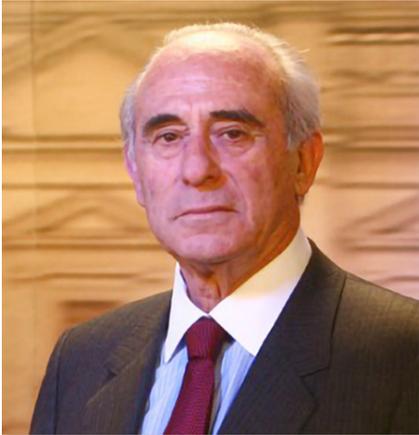
Sergio Bitar se refirió al efecto de este doble desafío sobre el empleo, porque según los datos disponibles, podríamos vernos ante una avalancha de hombres y mujeres buscando empleo apenas amengüen los momentos álgidos de la pandemia. Indica que las cifras hoy hablan de 3 millones de personas que necesitarán trabajo, por lo que todos los chilenos debemos crear condiciones para aliviar a los más necesitados. La colaboración es vital para el bienestar de la mayoría de las familias y la paz social. Concluyó su presentación con la formulación de un Plan de Empleo, aplicable en Chile y América Latina, indispensable en un contexto de fragilidad económica, crisis y polarización política.

Ricardo Bitrán se refirió al COVID-19 en Chile, situación y líneas de acción, que desarrolló junto con el economista y empresario Jorge Claro, el ingeniero Rodrigo Muñoz y la economista Paula Arpón, identificando la consecuencia llamada “carga de enfermedad”, es decir, la morbilidad y la mortalidad, y las consecuencias nefastas en la economía de los hogares y del país, como un todo. Destacó los efectos de mayor inestabilidad social y política, la violencia intrafamiliar, el alcoholismo y otros de carácter indeseado. Concluyó su presentación haciendo un análisis crítico sobre las estrategias de desconfinamiento y proponiendo medidas que podría tomar el Gobierno para promover el retorno progresivo de la actividad económica, conjuntamente con proteger la salud de la población vulnerable.

Luis Valenzuela profundizó el análisis relacionado con la Pandemia del COVID 19, aportando importantes cifras estadísticas que cuantifican los efectos muy preocupantes que derivan del aumento del desempleo, de los problemas sanitarios y del desafío asociado. Concluyó su presentación proponiendo acciones prioritarias que deberían estar contenidas en los proyectos que se formulen en la lucha contra el desempleo.

FORO: “CHILE ANTE UN DOBLE DESAFÍO: SANTARIO Y DESEMPLEO”

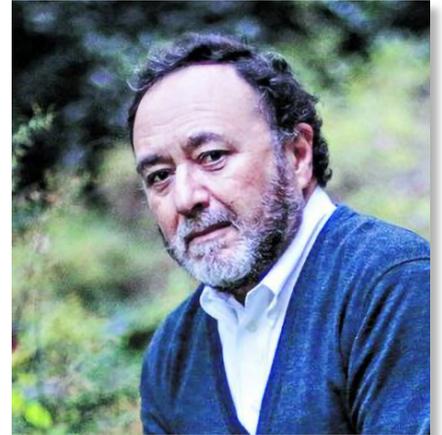
Panelistas: Sres. Sergio Bitar, Luis Valenzuela y Ricardo Bitrán.



Sr. Sergio Bitar.



Sr. Luis Valenzuela.



Sr. Ricardo Bitrán.

El día miércoles 12 de agosto de 2020 a las 17:00 horas, vía zoom, ante una gran cantidad de asistentes, se dio inicio al primer Foro del año “Chile un doble desafío: Sanitario y desempleo”, con la participación como panelistas de los Sres. Sergio Bitar, Ricardo Bitrán y Luis Valenzuela, y como moderadora la Sra. Paula Vargas, Editora Jefa de Diario Financiero.

Sergio Bitar es Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, Economista y político. En diversos períodos ha sido Senador de la República, Presidente del Partido por la Democracia, Ministro de Minería, Ministro de Educación y Ministro de Obras Públicas.

Ricardo Bitrán es Ingeniero Industrial de la Universidad de Chile, MBA en Finanzas y Ph.D en Economía de la Salud de la Universidad de Boston, Experto Internacional en Economía en Sistemas de Salud. Socio Fundador de Bitrán y Asociados.

Luis Valenzuela es Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, Master of Science en Geotecnia, Imperial College of Science and Technology, Universidad de Londres. Consultor Senior y Director de Arcadis en Chile. Director del Instituto de Ingenieros de Chile.

A continuación, se reproducen las intervenciones de cada uno de los panelistas y al final, las preguntas moderadas por la Sra. Paula Vargas.

El Presidente.

—En este momento, el mundo entero, y el país en particular están enfrentados a un doble desafío. Un desafío sanitario y un desafío de empleo; eso lo vemos todos los días en la prensa, en la televisión y sin duda este doble desafío es altamente complejo ya que es preciso abordarlo de manera simultánea ambas crisis, la sanitaria y el desempleo. Porque una solución secuencial, como sería lo habitual, no nos lleva a buen puerto, por lo menos en este caso. Y ese es el dilema que pretendemos presentar y discutir en este foro.

Sr. Sergio Bitar.

—Me han pedido que sitúe el contexto en que se origina esta urgente discusión sobre el empleo. Valoro que el Instituto de Ingenieros esté atacando un problema enorme con la debida anticipación. Porque según los datos disponibles podríamos vernos ante una avalancha de hombres y mujeres buscando empleo apenas amengüen los momentos álgidos de la pandemia; aunque no sabemos cuándo ocurrirá debemos actuar desde ahora. Las cifras hoy hablan de 3 millones de personas que necesitarán trabajo, incluyendo parte de los informales. Es una magnitud enorme, y el Estado tiene que estar en condiciones de enfrentarla, pues de lo contrario las tensiones políticas pueden ser difíciles de gobernar. Ante este desafío, todos los chilenos debemos crear condiciones para aliviar a los más necesitados y, paralelamente, darnos tiempo para planificar cambios mayores. No bastará con ocuparse de lo inmediato. La colaboración es vital (Figuras A1 y A2).



Figura A1



Figura A2

Los países de Asia se están recuperando más rápido que nosotros, y que América Latina en general. Europa tiene espaldas más anchas por su Estado de bienestar y su base económica. Nosotros tenemos que ejecutar un plan de emergencia acorde con recursos limitados, y hacerlo en una Asociación público – privada y descentralizada. Acuérdense que en pocos meses tendremos gobernadores elegidos. También habrá una presencia fundamental de los municipios, que estarán elegidos en abril 2021. La prioridad debe apuntar a los sectores más vulnerables en todo el territorio nacional, con en particular atención a las mujeres. Y también debemos todos juntos levantar el ánimo del país.

El dilema de cada gobierno hoy es cómo combinar las medidas sanitarias con las económicas. La respuesta es privilegiar la salud para luego reactivar la economía, de manera progresiva, con cautela, pues vendrán rebrotes. El Plan de Empleo que proponga el Instituto tiene que ser revisado por autoridades sanitarias, para adaptar las medidas pertinentes según se trate de espacios abiertos o cerrados, y lograr la mayor eficacia (Figura A3).

Un Plan de Empleo es de fácil acuerdo, su ejecución, sin embargo, será difícil en una situación económica muy dura, que continuará por tiempo largo. Les ilustro esta realidad económica con dos cuadros que ha elaborado la CEPAL en los últimos días. En América Latina alcanzaría a 100 millones de personas en extrema pobreza, y la pobreza subiría de 30% a 37,3%. El otro cuadro, contiene la proyección del ingreso per cápita. Se estaría retrocediendo 10 años en ingreso per cápita, y en nivel pobreza estaríamos retrocediendo 14 años. Las exportaciones de la región tendrían, además, una importante reducción, especialmente el comercio intrarregional.



Figura A3

Es un cuadro extremadamente complejo. Y en tal situación hay que generar cohesión social y política para evitar tensiones, protestas, legítimas unas, violentas e ilegítimas otras. Afortunadamente, las cifras de pobreza en Chile son bastante más bajas, al igual que la situación de nuestras exportaciones, pues el cobre y los alimentos poseen una demanda externa más firme.

¿Cuáles son las tres tareas políticas que debemos abordar en lo que resta de 2020 y 2021 para efectuar un buen Plan de Empleo? La primera, que ya está en el Congreso, es la reforma del Sistema de Previsión Social. En ella se debiera producir una convergencia que resolvería un problema mayor, causante de grandes desigualdades y tensiones sociales. La segunda es el plebiscito. Este debe realizarse en las mejores condiciones para alcanzar la mayor participación ciudadana. La Reforma Previsional y el Plebiscito canalizarán a la sociedad chilena hacia la convergencia. Y la tercera es un Plan de Empleo de Emergencia. No olvidemos que tenemos varias elecciones fundamentales en 2021, y debemos crear condiciones favorables. El empleo es esencial para el bienestar de la mayoría de las familias y la paz social.

Para lograr éxito tenemos que alcanzar una triple convergencia; en lo social, ingresos a los más vulnerables; en lo económico, empleo y luego recuperación; y en política, elecciones democráticas y plebiscito. Las tres iniciativas deben avanzar sincronizadamente.

En cuanto al Plan de Empleo, una exigencia esencial para crear empleos es contar con una abundante cartera de proyectos medianos y pequeños de ejecución rápida. Los proyectos también debieran penetrar en campos de futuro, como la digitalización, capacitación, forestación,

agua, prioridad para mujeres jefas de hogar, solas, en situación apremiada.

La participación de los municipios es una prioridad, y es positivo que el Instituto de Ingenieros haya iniciado conversaciones con ellos para conocer su capacidad de creación de empleo. Los municipios dan una cobertura territorial amplia. Tienen la ventaja de cercanía con los problemas sociales más acuciantes de la gente más necesitada. En las conversaciones con alcaldes han surgido posibilidades en infraestructura de salud, que permiten absorber presión y aliviar a los hospitales. También aparece el desarrollo de espacios públicos, deportivos, plazas y parques, reparación de calles y veredas, extensión de la red digital, apoyo a las PYMES comunales. Además, muchas mujeres están ocupadas en el cuidado de niños, enfermos, adultos mayores, labores que no se pagan, y ese pago que valoriza el trabajo femenino reduciría harto la desigualdad.

El gran desafío que enfrentaremos en Chile y América Latina es realizar estas transformaciones ineludibles en un contexto de fragilidad económica, y crisis y polarización política.

El Instituto de Ingenieros de Chile puede hacer una contribución importante, y el Gobierno tiene que fortalecer la capacidad de coordinación nacional y, en particular, incorporar a los municipios, acelerar la formulación de proyectos generadores de empleo, a fin de salir adelante en plazos más breves.

Muchas gracias.

Sr. Luis Valenzuela.

—Para mí un placer estar hoy día compartiendo con ustedes este Foro sobre dos importantes desafíos que enfrenta el país: salud y desempleo. Me corresponde ahora presentar lo que respecto a estos dos desafíos ha hecho específicamente el Instituto de Ingenieros y cómo ha sido el desarrollo de este Plan de Recuperación Urgente del Empleo que éste ha propuesto (Figuras B1 y B2).

A partir de febrero y, marzo de este año 2020, todo el país centró su preocupación en la Pandemia del COVID 19, pero ya a fines de marzo comienzan a aparecer cifras muy preocupantes del aumento del desempleo, principalmente al recibirse la última información del INE a fines de ese

mes, en que ya se veía un importante aumento del desempleo. Pero ya, a fines de junio, el empleo ha alcanzado cifras mucho mayores (Figura B3).



Figura B1



Figura B2



Figura B3

En el mes de mayo el Instituto decidió estudiar el tema y formó una Comisión para ver cómo contribuir al desarrollo de propuestas o de visiones que permitieran al país encontrar soluciones en el menor tiempo posible. Es así como esta Comisión elaboró un Programa más bien enfocado en la parte de inversión, aceptando que, como consecuencia de ésta, se originen trabajos de construcción o de mantención. No se incluyó específicamente el trabajo asociado al comercio, aunque igualmente se mencionará.

La Comisión trabajó intensamente durante los meses de mayo y junio y luego presentó este Plan a varios Ministerios de la República. Hubo además comunicaciones con algunos Ministros y Secretarios de estos Ministerios y además se sostuvieron entrevistas en una serie de instituciones públicas y privadas para formarse una idea clara de la situación.

Este significativo crecimiento del desempleo es que Chile pasa a constituir un triple desafío, en el sentido de que el desafío sanitario, junto con el desafío del desempleo, se traduce en un desafío social de proporciones.

El resultado del trabajo de la Comisión fue la elaboración de un Plan de Generación Urgente de Puestos de Trabajo a ser efectivos los años 2021 y 2022. La razón de porqué considerar estos años, es porque, al iniciar el estudio, se constató que las iniciativas que estaban proponiendo otros grupos se enfocaban principalmente en grandes proyectos de inversión, que requieren varios años para materializarse y aunque que varios de ellos podrían ser iniciados luego, no iban a ser capaces de proveer puestos de trabajo en el corto plazo. Es así que la Comisión se puso como objetivo la elaboración de un Plan de Generación de Puestos de Trabajo, que pudieran estar disponibles en enero de 2021, considerando que desde ahora y hasta fines del presente año, esos proyectos tendrían que ser preparados y aprobados, de tal manera de estar disponibles para su ejecución a inicios del 2021 (Figura B4).

La fuerza de trabajo que había a fines de junio era de 8.139.000 personas, y en término de desocupados, en base a las estadísticas oficiales se consideraron 997 mil desocupados o cesantes, a los que se han sumado 802 mil desocupados ausentes en que, parte de ellos, estaban protegidos por cierto tiempo con la Ley de Protección del Empleo. Lo que da un total de 1.800.000 personas desocupadas, que es la cifra que ha estado manejando el Gobierno y la Prensa al mes de junio, cifra que hoy ciertamente debe ser mayor (Figura B5).

POBLACIÓN OBJETO DEL PLAN DE EMPLEO

	JUL - SEP 2019	ENE - MAR 2020	ABR - JUN 2020
1. Fuerza Trabajo	9.158 M	9.744 M	8.139 M
2. Ocupados	8.512 M	8.942 M	7.142 M
3. Ocup. Informal	2.422 M	2.581 M	1.596 M
4. Desocupados	645 M	802 M	997 M
5. Inactivos	6.269 M	5.853 M	7.540 M
6. Ocup. Ausentes			802 M
7. Ley Prot. Empleo			700 M
8. Tasa Desocup.	7%	8,2 %	12,2%
Tasa Ocupación	55%	57%	46%
Cesantes + A(4+6)	645 M	802 M	1.800 M

Figura B4

Adicionalmente se ha considerado que el desempleo histórico en Chile en los últimos 4 o 5 años ha sido del orden del 6,5% y ese porcentaje de desempleo sería muy difícil de mantener ahora con las medidas propuestas. ya que se trata de un problema estructural de nuestro país, que requeriría transformaciones mucho más profundas. Las medidas deberían apuntar a 900.000 empleos en las áreas de infraestructura y construcción, que son las que el Instituto consideraba como las más adecuadas para proveer empleos en el corto plazo. Se estimó que podrían llegar a proveer, para los años 2021 y 2022 del orden de 300 a 400 mil empleos (Figuras B6 a B8).

► **1.800 M + 985 M informales = 2.785 M**

► + Pérdida de Fuerza Trabajo → **4.387 M**

LA PRESION POR EMPLEO PUEDE IR MAS ALLA DE 1.800 M

Figura B5

PLAN EMPLEO IICH DE JUNIO 2020

N° EMPLEOS NECESARIOS	
Población Objetivo	1.800 M Cesantes + Oc. ausentes
20% recuperación	360 M Recuperación inicial
6,5% Fuerza Trabajo	530 M c/r 8.139 M
Necesidad empleo	910 M Periodo 2021 - 2022
PLAN IICH EMPLEO	300 / 400 M Construcción/mantenión
	610 M / 510 M Comercio/otros

Figura B6

Como mencionaba Sergio Bitar, estos 1.800.000 de desocupados no son los únicos que requieren empleo. Es posible que muchos de los desocupados informales no puedan volver a sus actividades, representando también una presión en términos de la necesidad de puestos de trabajo, que pudieran llegar a los 2.800.000. Y si agregamos la pérdida de trabajo que hubo entre el último semestre del 2019 y fines de junio de 2020, se podría llegar a un número cercano a 4.300.000 de personas desempleadas, siendo claramente imposible proveer empleo en el corto plazo para todos ellos. Lo propuesto por el Instituto podrá ser complementado por otras acciones en otros sectores de la economía o deberá ser objeto de subsidios o ayuda fiscal de otro tipo.

¿Cómo estimamos a qué objetivo podríamos apuntar como Instituto? Consideramos 1.800.000 de cesantes y supusimos, que un 20% se recuperará a inicios del año 2021, apenas empieza a aumentar la movilidad de los trabajadores; ya hay empresas, como las de construcción, que esperan retomar actividades apenas puedan disponer de la mano de obra.

► **PROYECTOS INVERSION** → **400 M empleos** ✓
(mayoría de iniciativas enfocadas en proyectos inversión)

► **COMERCIO Y SERVICIOS*** → **500 M empleos ?**
(Capacitación, apoyo económico, subsidios, tributario, otras)

► *** TURISMO, muy afectado** → **200 M empleos ?**
(sector hoteles, restaurantes, agencias de viaje, transporte)

Figura B7

Los proyectos de inversión que están asociados a algunas de las ideas del Instituto y también de otras organizaciones como la CPI (Concejo de Políticas de Infraestructura) y la Cámara Chilena de la Construcción, se enfocan principalmente en proyectos de inversión que podrían otorgar del orden de los 400 mil empleos en los años 2021 y 2022. Pero en comercio y servicios quedarían todavía del orden

	COSTO U\$	EMPLEOS D+I	
VIVIENDA SOCIAL	2.800 MM	150 M/170 M	MINVU/privados
DESARROLLO URBANO	456 MM	20 M/25 M	MINVU/Municipal
AREAS VERDES PARQ.	150 MM	15 M/20 M	Municipal
OBRAS PUBLICAS	3.520 MM	50 M/60 M	MOP/privados
OBRAS MENORES	780 MM	60 M/80 M	MOP/regiones
MANTENCION OBRAS	600 MM	15 M/20 M	MOP/Municipal
SERVICIOS BASICOS	600 MM	15 M/20 M	MOP
TRANSPORTE	700 MM	15 M/20 M	MOP/MT
TOTAL ESTIMADO	9.606 MM	340 M/415 M	US4.000 M privados
OTRAS INVERSIONES	4.000 MM	80 M/120 M	MIN. ECONOMIA
POSIBLE TOTAL	13.606 MM	420 M/535 M	

PLAN EMPLEO 2021 - 2022 IICH JUNIO

Figura B8

de 500 mil empleos por solucionar, los cuales pueden ser creados como una relación virtuosa con los otros empleos que se vayan creando, pero que ciertamente van a requerir de capacitación, apoyo económico, subsidios, facilidades tributarias, etcétera.

Dentro de los servicios relacionados con el comercio hay uno muy importante, que es el servicio de Turismo, que ha sido muy afectado y que probablemente podría aportar a esa cifra unos 200 mil empleos o más en la medida que se recupere la movilidad. Este sector formado por hoteles, restaurantes y agencias de viajes tiene una condición muy especial, ya que su recuperación depende de la demanda en el corto plazo, lo que, a su vez, depende de que se recupere la movilidad. Por lo tanto, si bien no está tratado en el Plan desarrollado, estamos conscientes de los problemas de ese sector y se continuarán las conversaciones con el sector turismo.

Quisiera ahora mencionar la estructura del Plan por áreas de actividad. Con relación a Vivienda Social y Obras Públicas hay una relativa coincidencia con lo que han presentado otros grupos y con el Gobierno. Si bien las cifras al inicio eran muy dispares, con el proceso de conversación se han ido acercando. Pero hay otras cifras en las cuales no hay total coincidencia lo que va a requerir un proceso de selección. El monto total estimado de inversión es de 9 mil millones de dólares, de los cuales estimamos que 4 mil millones de dólares son aportados por los privados. Por ejemplo, en las viviendas sociales hay proyectos que son de inversión privada.

Además, hay algunas expansiones de concesiones ya existentes, así como en expandir algunas obras donde la inversión es mayoritariamente privada.

También quisiera destacar que hay proyectos que pudieran tener una componente municipal importante, y que se refiere al desarrollo urbano y al mejoramiento del espacio público. Hay proyectos en el MINVU, pero también las municipalidades tienen sus propias necesidades, áreas verdes, parques y sitios deportivos. Un alcalde nos decía que esa parte es esencial: áreas verdes y recintos deportivos permiten mejorar significativamente la calidad de vida. Existen además obras menores de distinto tipo que requieren las municipalidades, algunas ya están identificadas por el Ministerio de Obras Públicas (Figura B9).

- ▶ **INCLUYE PROPUESTA A NIVEL MUNICIPAL**
(no existe una propuesta municipal, primera estimativa → es importante conocer las necesidades y capacidades del sector)
- ▶ **EXISTEN OTROS PROYECTOS A CONSIDERAR**
(hecha la selección y priorización de los proyectos (reforestación, capacitación, viviendas de madera y otros → el proceso de selección a seguir deberá definir portafolio prioritario)
- ▶ **PROYECTO OPTIMIZADO FINAL**
(los proyectos propuestos por el IICH, otros organismos, ministerios y municipalidades deberán constituir un paquete de proyectos que deberán estar listos a ser iniciados a fines de 2020)

Figura B9

El Instituto fue de los primeros en incluir una estimación preliminar de las obras que pudieran llevar a cabo los municipios para generar empleo en el corto plazo. Actualmente se está en un proceso de conversar con las varias municipalidades e intercambiar ideas con ellos. Como un resumen de lo anterior lo destacable de nuestra propuesta es que incluye actividades de tipo municipal, lo que ha permitido conversar con las municipalidades.

Coincidiendo con el Foro, recién hoy día, la Asociación de Municipalidades ha presentado por primera vez un diagnóstico de sus necesidades, con una estimación de sus principales requerimientos y del número de empleos que podrían surgir, sin embargo, aún no han presentado el Programa en detalle, pero se mencionaron del orden de 200 mil empleos, lo que se deberíamos revisar.

De las 345 municipalidades que hay, respondieron 271 municipalidades. Se les pidió una lista de sus primeras preocupaciones. El desempleo es la primera preocupación: el 94% de las municipalidades mencionó el desempleo como la principal preocupación. Hay otros temas recurrentes como

ingresos, endeudamiento y, como necesidades específicas, el déficit de agua potable. Esta última es una sorpresa pues se tenía la información de que en agua potable la cobertura era mucho mayor, pero es una de las preocupaciones esenciales; luego la conectividad vial y tal como dijo Sergio Bitar también la infraestructura hospitalaria básica, con la necesidad de que muchas de las comunas puedan proveer atención primaria tipo SAPU a una que llaman SAR (Servicio de Atención Primaria de Urgencia de Alta Resolutividad) que ya tiene más posibilidades de atender cosas un poco más complejas de lo que atiende un SAPU. Nos alegramos de que las municipalidades hayan sacado la voz, y esperamos que presenten luego su Programa detallado, pero realmente era difícil de entender que las municipalidades no estuvieran consideradas.

Las municipalidades están extendidas a lo largo de todo el país, conocen de cerca las necesidades de sus poblaciones, e íntimamente la necesidad de infraestructura. Para nosotros fue una sorpresa hablar, por ejemplo, con la alcaldesa de Peñalolén y saber que tenían registradas 20 mil microempresas, que trabajan en pequeñas cosas y que hacen que se active toda la economía relacionada, por ejemplo, con panaderías y una infinidad de actividades menores.

Ahora viene el siguiente paso para que estos planes entren a un proceso de optimización para conformar el Plan Final de Recuperación y al respecto se espera que haya conversaciones con los otros grupos y con el Gobierno. El Gobierno recibió nuestro Plan en junio y ahora a principio de agosto el Instituto de Ingenieros de Chile, representado por su presidente Ricardo Nicolau del Roure, es parte del Concejo Asesor del Ministro Alfredo Moreno que está dirigiendo el Plan Gubernamental de Recuperación Económica (Figura B10).

FUNDAMENTOS DEL PLAN DE EMPLEO

- ▶ **Años 2021–2022 críticos c/r empleo mientras comienza la recuperación**
(periodo constituye un PUENTE entre 2020 y 2023 →)
- ▶ **Prioridad en iniciativas y proyectos que permitan:**
 - generar empleos inicios 2021
 - uso intensivo de mano de obra
 - distribuidos regionalmente
 - un claro beneficio social
 - consideraciones de género

Figura B10

En los fundamentos del Plan del Empleo establecimos que el periodo 2021-2022 era el más crítico en términos de necesidades urgentes de empleo. Porque si bien hay varios proyectos considerados, algunos de ellos no pueden comenzar a generar empleos importantes desde el principio, así que tienen que haber proyectos menores que permitan dar trabajo en el período inicial.

Los microproyectos que tienen entre sus necesidades las municipalidades pasan a cumplir un rol importante en esto:

- Hay que establecer una prioridad en estos proyectos para que cumplan con la generación en ese periodo, reconociendo que hay otros proyectos mayores que van a seguir produciendo empleos más adelante en forma quizás más importante, pero que van a tomar un tiempo.
- Una de las prioridades es generar empleos al inicio del año 2021.
- Identificar y seleccionar proyectos que sean intensivos en mano de obra, aunque no sean de alta productividad y rentabilidad, pero sí puedan dar empleo en forma importante y lo antes posible.
- Idealmente los proyectos deben estar distribuidos regionalmente.
- Que tengan un claro beneficio social. Existen necesidades sociales importantes y eso se ha visto, sobre todo en las comunas más necesitadas. Hay una falta de facilidades territoriales en términos del espacio público muy importante y hay que hacer coincidir estas necesidades con esos requerimientos y poder solucionarlos.
- Y por supuesto, también las consideraciones de género. En muchas de estas comunas la demanda por empleo es mayoritariamente de parte de mujeres, que buscan además empleos que muchas veces deben tener ciertas características prioritarias, por ejemplo, que en lo posible queden cercanas a la comuna o dentro de la comuna porque tienen otras responsabilidades familiares que atender (Figura B11).

Ahora los aspectos críticos que vemos en este minuto.

- El sentido de urgencia que el Instituto ha tenido desde el principio no lo hemos visto en todos los sectores que han demorado en darse cuenta de que esto es urgente. Cuando hablábamos en junio nos quedaban 6 meses, hoy día estamos a mediados de agosto, luego va a ser fines de agosto, son 4 meses y medio. La idea es que de aquí a diciembre los proyectos estén ya identificados,

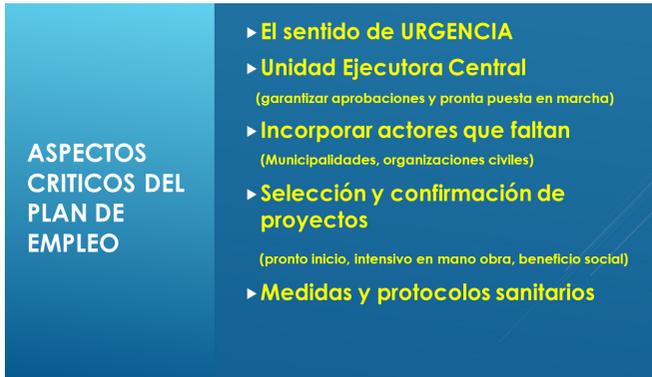


Figura B11



Figura B12

aprobados, autorizados y a punto de empezar de tal manera de tener los empleos a tiempo.

- También hace falta una Unidad Ejecutora Central. Es cierto que el Gobierno ha nombrado al Ministro Alfredo Moreno como coordinador de este Plan de Recuperación y ahí participan todos los Ministerios y algunas organizaciones como el Instituto de Ingenieros de Chile, pero es una instancia de coordinación. Siendo este un Plan tan ambicioso, tan necesario, tan urgente, echamos de menos la existencia de una Unidad Central que se preocupe y garantizar que los proyectos van a estar a tiempo generando los empleos necesarios. Hay infinidad de trabajo por hacer en términos de ir eliminando barreras burocráticas, permisos, etcétera.
- Además, hay que incorporar actores, como las municipalidades que ya están levantando su voz y esperamos participen activamente en el Consejo Asesor.
- Es necesaria la selección y confirmación de los proyectos; hay muchas propuestas similares, con diferentes composiciones y hay que seleccionar y priorizar esos proyectos y confirmar los que pueden cumplir con las

condiciones que se requieren. Se trata de una tarea urgente y que requiere voluntad, esfuerzo y tiempo.

- Además, hay que pensar en las medidas de protección y los protocolos sanitarios que hagan posible todo lo anterior (Figura B12).

Muchas gracias.

Sr. Ricardo Bitrán.

—El trabajo que les quiero presentar tiene por título COVID-19 en Chile: Situación y líneas de acción. Lo desarrollamos en conjunto cuatro personas: quien habla, el economista y empresario Jorge Claro, el ingeniero Rodrigo Muñoz y la economista Paula Arpón.

Quiero partir hablando sobre las consecuencias que una pandemia tiene en un país (Figura C1). Una pandemia tiene en primer lugar consecuencias en la llamada “carga de enfermedad”, es decir la morbilidad y la mortalidad. Una pandemia genera discapacidad por enfermedad aguda y también produce muerte prematura, es decir, hace que mueran personas mucho antes de su esperanza de vida normal.



Figura C1. Las consecuencias de una pandemia.

Fuente: Los autores.

Una pandemia también tiene consecuencias nefastas en la economía de los hogares, de lo que han estado hablando quienes me precedieron. Una pandemia genera desempleo y pérdida de ahorros, produce pobreza y hambre y pérdida de fuentes de trabajo.

Una pandemia también tiene consecuencias negativas para la economía de un país como lo hemos escuchado y visto en el caso de Chile: hay un menor crecimiento económico, una menor recaudación fiscal, un mayor gasto en salud, un incremento del gasto social y más endeudamiento del Estado para financiar lo anterior; esto último en una situación en la cual los ingresos fiscales caen.

Y, por último, la pandemia tiene consecuencias indeseables para la sociedad, como por ejemplo mayor inestabilidad social y política –cosas que también estamos experimentando– violencia intrafamiliar, alcoholismo y otros efectos indeseados.

En el ámbito de las políticas públicas en respuesta a esta pandemia, en todos los países del mundo se ha dado la discusión respecto de qué se debe privilegiar: si la carga de enfermedad (el estado de salud en otras palabras) o bien la economía. Y aquí ha habido debates muy acalorados entre quienes sostienen que la salud es más importante que la economía y los que sostienen lo contrario.

Un trabajo reciente de un prominente economista, el Sr. Acemoglu, reconoce que existe esa tensión entre estado de salud y pérdida económica (Figura C2). Si ponemos la pérdida económica en el eje vertical y el estado de salud medido por las muertes prematuras en el eje horizontal, podemos imaginar una situación en la cual el control para prevenir el contagio y las muertes es máximo y todos los ciudadanos del país se encuentran en una cuarentena estricta e indefinida. En ese caso, las muertes serían pocas porque habría pocos contagios, pero el costo económico simplemente sería muy alto, pues prácticamente nadie podría trabajar ni generar ingresos.

En el otro extremo, podríamos imaginar una situación en la cual no hay ningún control, ninguna cuarentena. En ese caso, probablemente habría muchas muertes, pero el costo económico sería moderado. Tal vez Suecia es el país que más se acerca a esa situación.

El economista Acemoglu dice que los países se han ubicado en algún punto intermedio, pero hace notar en su análisis –y este es el principal punto de su estudio–, qué si las cuarentenas en lugar de ser generales para toda la población fuesen focalizadas en grupos de riesgo, como personas mayores y personas con enfermedades persistentes, entonces el costo económico podría ser más moderado al mismo tiempo se podría evitar una gran cantidad de muertes (Figura C3).

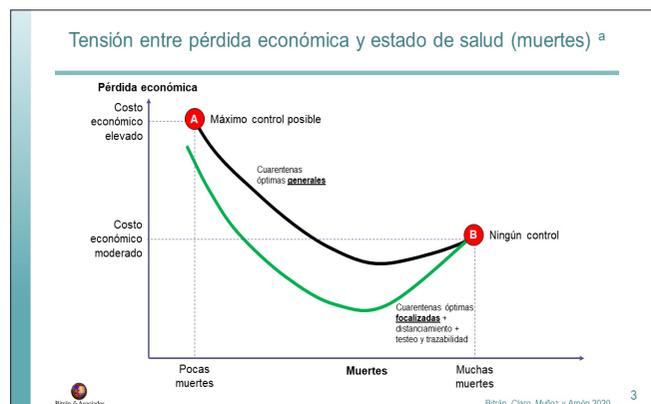


Figura C2. Tensión entre pérdida económica y estado de salud (muertes). Fuente: Adaptado por los autores de: Acemoglu, D., et al. (2020). Optimal Targeted Lockdowns In A Multi-Group SIR Model. Working Paper. Cambridge, National Bureau of Economic Research.



Figura C3. Mayor efectividad de las cuarentenas focalizadas. Fuente: Adaptado por los autores de: Acemoglu, D., et al. (2020). Optimal Targeted Lockdowns in a Multi-Group SIR Model. Working Paper. Cambridge, National Bureau of Economic Research.

Para un costo económico dado una cuarentena focalizada en los grupos de mayor riesgo, podría producir una menor cantidad de muertes que una cuarentena general.

Ahora hablaré de las consecuencias de salud de largo plazo del COVID.

El COVID aparentemente no es inocuo para la salud del paciente sobreviviente, cualquiera sea su edad. Aún hay limitadas evidencias sobre los efectos a largo plazo del COVID-19, pero están emergiendo nuevos hallazgos todos los días. A mí me llegan publicaciones a diario,

documentando este tipo de hallazgos. Se anticipa que algunas de las personas que estuvieron enfermas de COVID-19 tendrán problemas de coagulación de la sangre, serán más proclives a tener accidentes cerebro vasculares y embolias, a presentar daño cardíaco y daño pulmonar, y también presentarán síntomas neurológicos.

Por otra parte, hay evidencia de los Estados Unidos que las cuarentenas hicieron caer la cantidad de personas que se sometieron a exámenes imagenológicos para pesquisar accidentes cerebro vasculares. Como se pueden ver en la Figura C4, durante los meses de marzo y abril hubo una caída dramática en la cantidad de personas que concurrió a hacerse exámenes de resonancia o escáner por haber presentado síntomas cerebrovasculares. Eso sin duda va a tener consecuencias muy nefastas en la salud de estas personas en el futuro.

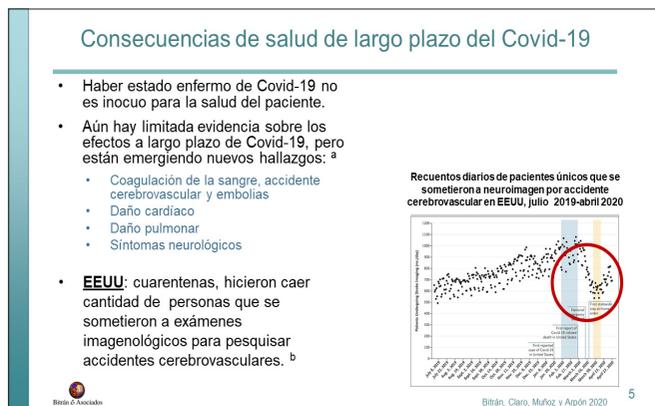


Figura C4. Recuentos diarios de pacientes únicos que se sometieron a neuroimagen por accidente cerebrovascular en EEUU, julio 2019-abril 2020. Fuente: Kansagra, A. P., et al. (2020). "Collateral Effect of Covid-19 on Stroke Evaluation in the United States". N Engl J Med 383(4): 401-402.

En Estados Unidos también se documentó cómo un atraso de tan solo 3 meses en el diagnóstico del cáncer de mama aumenta de manera muy importante la probabilidad de que la paciente tenga metástasis distantes en el futuro, y por lo tanto experimente una reducción en su sobrevivencia. En Inglaterra el Imperial College publicó un trabajo cuyos autores afirman que, por cada 10 pacientes de COVID-19 salvados en el hospital, habrá 4 pacientes con cáncer que morirán si las cirugías tumorales se retrasaran 6 meses.

Efectivamente, una consecuencia del COVID-19 es que la respuesta de los sistemas de salud ha estado tan enfocada en destinar recursos a prevenir muertes por este virus, que han descuidado todas las demás actividades. Además, muchas pacientes no se atreven a concurrir a los establecimientos de salud excepto si tienen COVID-19.

En Chile hay información de que las muertes por cáncer podrían aumentar de manera muy importante. Los cánceres más frecuentes, cuyo diagnóstico en el 2020 disminuyó en relación con el año anterior, son los siguientes: cáncer de mama cayó en un 33%, cáncer de pulmón en un 44%, cáncer gástrico 33%, cáncer de tiroides 59%, cáncer de próstata 72%, cáncer de colon 50%. Es decir, se diagnosticó una cantidad apreciable y menor de cánceres, no porque haya disminuido la incidencia, sino que porque se ha reducido el diagnóstico temprano porque muchos pacientes no concurren a los servicios de salud. Por lo tanto, habrá menor prevención y tratamiento oportuno y esto tendrá consecuencias muy negativas en la salud de esos pacientes. Yo escuché decir a un experto que ocupa un alto nivel en la comunidad nacional del cáncer, que estiman que la cantidad de muertes por cáncer este año podría exceder entre un 35 y un 50% a la que estaba prevista. Eso sería comparable casi con la cantidad de personas que han muerto de COVID-19.

¿Cómo ha sido el desempeño de Chile en el manejo de la pandemia?

Basándonos en cifras del 4 de agosto del 2020, Chile presentaba la mayor tasa mundial de contagios por millón de habitantes, si es que dejamos afuera a los 4 países que nos preceden de los cuales Qatar es el que tiene más población (3 millones de habitantes). Entre los países de más de 3 millones de habitantes, Chile tenía la mayor tasa mundial de contagios. Chile, era el octavo país del mundo con la mayor cantidad de muertes por millón de habitantes, lo que no es un buen desempeño tampoco (Figura C5).

Por otra parte, aunque la tasa de letalidad no estaba entre las 40 más altas, han muerto muchas personas en Chile porque su elevada tasa de infección. La tasa de letalidad, es decir, el porcentaje de quienes están enfermos que mueren producto del COVID-19, ha sido relativamente modesta, gracias a una buena respuesta del Sistema de Salud de Urgencia Hospitalario público y privado.



Figura C5. Casos y muertes por millón de habitantes, Chile y otros países, agosto del 2020. Fuente: Elaborado por los autores con información de Worldometers, <https://www.worldometers.info/coronavirus/>

Es interesante lo que nos dicen las estadísticas respecto de la vulnerabilidad de los chilenos hombres y mujeres a enfermarse, a requerir hospitalización, UCI y fallecer debido al COVID-19 (Figura C6).

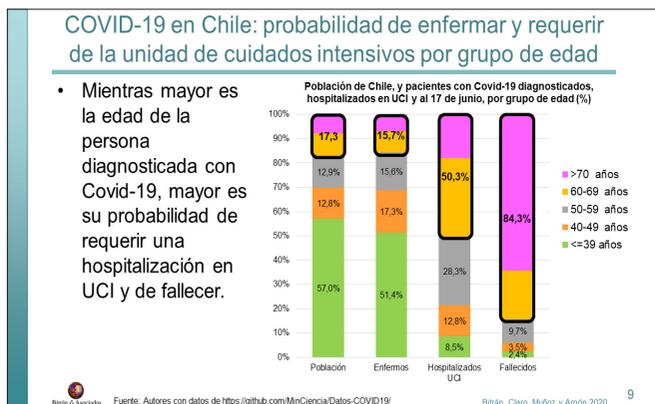


Figura C6. Población de Chile, y pacientes con Covid-19 diagnosticados, hospitalizados en UCI y al 17 de junio, por grupo de edad (%). Fuente: Elaborado por los autores con información del Ministerio de Ciencias y Tecnología, <https://www.minciencia.gob.cl/covid19>

Se observa que mientras mayor es la edad de la persona diagnosticada con COVID-19, mayor es su probabilidad de requerir una hospitalización. Se puede ver que las personas mayores de 60 años representan el 17% de la población, el 16% de los enfermos de coronavirus, el 50,3% de todos los hospitalizados en UCI y el 84,3% de todos los fallecidos

por COVID-19. Es decir, la probabilidad de enfermarse del grupo de personas mayores de 60 años es semejante al resto de la población, pero si se enferman, sus episodios son mucho más complejos y requieren de UCI con mucho mayor frecuencia; y un porcentaje elevado de ellos muere (el 84% de todos los fallecidos).

¿Qué pasa con el costo económico de la pandemia? En este trabajo nos hicimos apoyar por el economista Ángel Cabrera, quien hizo estimaciones del costo mensual económico de la pandemia en Chile a causa de las cuarentenas masivas que paralizaron las actividades económicas de las principales comunas. Cabrera estimó que este costo variaba entre 2.200 y 2.900 millones de dólares al mes. A ese costo habría que sumarle los 20 mil millones de dólares que suman los paquetes de estímulo fiscal.

Por otra parte, los empleos en la construcción el 84% han visto caer sus ingresos y el solo 37% está trabajando. Una encuesta reciente de CADEM indica que el 32% de los trabajadores del sector construcción declaró estar cesante y el 31% afirmó estar bajo la modalidad de contrato suspendido.

¿Cómo va a evolucionar la pandemia en Chile? Estamos esperando que el gobierno sea muy cauteloso en su plan de reapertura. Sabemos que está la amenaza inminente de los rebrotes: hemos visto cómo esto ha ocurrido en Estados Unidos y también en Israel, país que declaró victoria y posteriormente reabrió la economía en forma abrupta, lo que produjo un rebrote más alto que el inicial.

En muchos países ha ocurrido el problema del rebrote y es muy posible que ocurra en Chile, pese a las medidas que está tomando el Ministerio de Salud en la manera en que maneja el confinamiento. Mientras tanto estamos a la espera de una vacuna. Sin embargo, es poco probable que Chile tenga acceso en forma universal a una vacuna antes de la segunda mitad del año próximo (2021). Nos quedan muchos meses por delante, muchas posibilidades de rebrote y ciertamente muchos problemas económicos y sociales asociados a la baja de empleo, a la pérdida de empleo y a los gastos económicos asociados a ellos.

Esto llevó a este grupo de investigadores a hacer una propuesta al Gobierno que contemplaba cuarentenas focalizadas por edad y por riesgo. Lo que se proponía eran unas cuarentenas voluntarias para personas mayores de 65 o menores que tuvieran ciertas condiciones crónicas

que los hacían más vulnerables a morir del coronavirus. La idea era proteger a las personas más vulnerables, liberar camas UCI (puesto que las personas mayores son quienes mayor uso hacen de UCI) y evitar muertes. Ese era el primer objetivo.

Un segundo objetivo era restablecer progresivamente la actividad económica para evitar la profunda recesión inducida por la respuesta nacional a la pandemia.

También mostramos que durante 2 meses el país estuvo paralizado con la mitad de la población chilena inactiva en cuarentenas comunales y generales, a la vez que continuaba aumentando la incidencia.

Esos fueron 2 meses perdidos, en el sentido de que no hubo actividad económica o hubo muy poca y sin embargo la epidemia se siguió propagando a tasas exponenciales.

Es por ello, por lo que nuestra propuesta buscó albergar en cuarentena voluntaria la mayor cantidad posible de personas, otorgándoles alimentación, medicamentos y otras necesidades básicas.

Planteo acá esta propuesta porque es posible que un enfoque semejante al que hicimos en ese momento pudiese adoptarse ahora, como parte del plan de desconfinamiento, para minimizar la cantidad de muertes y contagios y acelerar el retorno a una actividad económica segura.

Para ello miramos la composición de los hogares de Chile usando el censo del 2017. Había 5,5 millones de viviendas. En medio millón de ellas solamente vivían personas mayores de 65 años y por lo tanto sería en principio fácil invitar a esas personas a que tuvieran una cuarentena voluntaria, recibiendo ciertos cuidados e incentivos económicos. En un millón de viviendas convivían adultos mayores con personas menores de 65 años. Para esos casos habría que decidir si debían reubicarse los adultos mayores o las personas menores. Y en 4 millones de viviendas no había adultos mayores.

Nuestra propuesta contemplaba un plan para promover la adhesión de los hogares con adultos mayores (Figura C7). Consistía en los servicios de un asistente social; la distribución gratuita mensual de alimentos; un subsidio de 200 mil pesos mensuales para los hogares que accedieran voluntariamente a participar en esta iniciativa; subsidios para cofinanciar las necesidades de un cuidador para

quienes no fuesen autovalentes; subsidios para aquellos que tuviesen que reubicarse a otro hogar; y, por último, la distribución gratuita de teléfonos celulares para que quienes adhriesen a esta medida pudieran comunicarse con sus familiares.

Componentes: esfuerzo logístico y económico

Componentes	Detalle	Tipo de hogar	
		Vivienda con adultos mayores que <u>no</u> conviven con menores de 65	Vivienda con mayores que <u>si</u> conviven con menores de 65
1. Salario asistente social	Cobertura de 160 hogares mensuales.	X	X
2. Alimentación: caja de alimentos	Gastos caja mensual por hogar, transporte incluido.	X	X
3. Subsidio hogar	- Subsidio casa con AM que no requiere cuidador: subsidio mensual por \$200.000. - Subsidio casa con AM que si requiere cuidador: 50.000 para AM y 150.000 para el cuidador.	X	X
4. Subsidios por reubicación	Subsidio mensual para persona menor de 65 años reubicada		X
5. Comunicaciones	Comunicación por hogar mensual (incluye teléfono inteligente)	X	X

Figura C7. Componentes de la propuesta de cuarentenas focalizadas: esfuerzo logístico y económico. Fuente: Los autores.

Como lo mostramos en la Figura C8, dividimos el costo de esta proposición entre los que no conviven con menores y los que lo hacen. En resumen, el costo total mensual asociado a la implementación de nuestra propuesta era de 260 millones de dólares, suponiendo una adherencia de entre 70 y 80%. Este costo mensual representaba menos del 10% del costo mensual que incurre mensualmente Chile por estar económicamente paralizado.

Componentes: esfuerzo logístico y económico

Duración de la intervención	3 meses	Total	
		Millones de \$	Porcentaje
Viviendas con AM que <u>no</u> conviven con menores de 65 años:			
Apoyo a vivienda con adultos mayores que no conviven con menores de 65	Unidad (\$)		
Salario asistente social	500.000 Cobertura de 160 hogares mensuales	1.757	0
Alimentación: caja de alimentos	35.000 Caja mensual por hogar, transporte incluido.	19.677	3
Subsidio hogar	200.000 Subsidio casa con AM que no requiere cuidador: subsidio mensual por \$200.000. Subsidio casa con AM que si requiere cuidador: 50.000 para AM y 150.000 para el cuidador.	112.440	18
Comunicaciones	20.000 Comunicación por hogar mensual (incluye teléfono inteligente)	11.244	2
Subtotal		145.118	19
Viviendas con AM que <u>si</u> conviven con menores de 65 años:			
Apoyo a vivienda con mayores de 65 acompañados	100.000 Subsidio mensual para persona menor de 65 años reubicada	316.671	51
Subsidio hogar	200.000 Subsidio casa con AM que no requiere cuidador: subsidio mensual por \$200.000.	227.364	37
Alimentación: caja de alimentos	35.000 Caja mensual por hogar, transporte incluido.	55.408	9
Comunicaciones	20.000 Comunicación por hogar mensual (incluye teléfono inteligente)	22.736	4
Subtotal		629.180	81
Total millones de \$		774.300	100
Total (MM USD)		933	
Por cada periodo (\$)		278.100	
Por cada periodo (USD)		1.194	

Nota: costo realizado para 76 comunas en cuarentena con 80% de adherencia = 566.341 viviendas

Figura C8. Estimación del costo de implementación de la propuesta de cuarentenas focalizadas (pesos). Fuente: Los autores.

Quiero ofrecer las siguientes reflexiones finales:

- ¿Es la estrategia actual de desconfinamiento la más conveniente para el país? ¿Permite minimizar casos y muertes protegiendo a los médicamente más vulnerables? ¿Permite retomar progresivamente el empleo y la actividad económica a una velocidad que impida que se profundice demasiado el costo económico?
- ¿No sería más conveniente hacer el desconfinamiento, de manera gradual, por grupos de riesgo? como en la propuesta que acabo de describir, en lugar de hacerlo por comunas (las comunas no son grupos de riesgo).
- ¿Qué acciones específicas pueden tomar las empresas para mantener o volver a sus actividades económicas? ¿Qué rol pueden jugar los municipios para contribuir a proteger a la población vulnerable y a promover el retorno al empleo seguro? También nos preguntamos si es que el Gobierno está aprovechando apropiadamente la existencia y las ventajas de un sector privado dinámico muy subempleado para facilitar el retorno a la económica con seguridad sanitaria. Y, por último, ¿qué otras medidas podrían tomar el Gobierno para promover el retorno progresivo de la actividad económica a la vez que protege la salud de la población vulnerable?

Muchas gracias.

Al término de las presentaciones, la Sra. Paula Vargas, Editora Jefe del Diario Financiero, hizo algunos comentarios y formuló las preguntas que se recibieron de los asistentes.

Sra. Paula Vargas.

—Ricardo Bitrán, ¿cómo ves tú esta apertura cautelosa que estamos viviendo hoy en día en el país? ¿Qué garantía nos da de que podamos volver a la actividad en el mediano plazo de manera segura?

Sr. Ricardo Bitrán.

—Los datos que publica a diario el Ministerio de Salud muestran una situación relativamente alentadora por cuanto no ha habido un aumento, no se han disparado las cifras de nuevos casos. Creo que es muy temprano para decirlo. La amenaza de que haya un rebrote es muy

alta, no porque Chile lo estaría haciendo mal, sino que la evidencia internacional muestra que cualquiera sea la estrategia ha habido rebrotes con excepción de Italia. Y, por lo tanto, considerando que es muy probable que ocurran esos rebrotes, va a significar que vamos a retroceder y volver a cuarentenas generales, que nuevamente van a hacer retroceder el retorno a la actividad económica. Yo creo que en caso de ocurrir eso, ante retrocesos, se debería proteger a los más vulnerables, en lugar de mandar a toda la gente, cualquiera que sea su edad y su riesgo médico de vuelta para la casa.

Eso sería el ajuste lo que yo le haría al Plan que se ha propuesto.

Sra. Paula Vargas.

—Y en ese sentido, ¿cuál es la viabilidad de expertos, proponen, de resguardar a esta población más riesgosa? ¿Qué garantía hay dentro del Plan?

Sr. Ricardo Bitrán.

—Respecto de esta propuesta, la remitimos a alguno de los miembros del Consejo Consultivo COVID, la conversamos con ellos. La conversamos con asesores del Presidente Piñera. Hemos vuelto a conversar ahora con el Ministro, doctor Paris, para ver qué disposición tendría para ir a un desconfinamiento basado en vulnerabilidad médica en lugar de un desconfinamiento por comuna.

Desde luego yo creo que ciertamente sobran las competencias y las capacidades empresariales en Chile para llevar a cabo una tarea como, por ejemplo, contactar a los hogares con mayores de 65 años, hacerles esta propuesta y apoyarlos en el proceso. Lo que yo creo que ha ocurrido es que el Gobierno se ha visto inhibido en la posibilidad de recurrir al sector privado para que iniciativas de este tipo funcione de manera más eficiente. Creo que ahí está la oportunidad perdida.

Hay un desaprovechamiento de las oportunidades que ofrece el conocimiento que tienen los municipios de su situación local, descentralizar las decisiones y que los municipios puedan jugar un rol activo en la solución de este problema tan grande.

Sra. Paula Vargas.

—*Sergio Bitar, quisiera preguntar respecto de este dilema de privilegiar la economía versus la salud. ¿Cómo enfrentarlo desde el punto de vista político?*

Sr. Sergio Bitar.

—Esa es la pregunta del millón de dólares, es la discusión mundial hoy día. Pero yo diría que desde el punto de vista ético y político y humanista no cabe duda de que si te mueres es irreversible. Entonces lo sanitario está puesto en el primer lugar. Pero como bien decía Ricardo Bitrán, si el 80% en Chile de los que se mueren son más de 70 años, entonces hay que hacer una discriminación y eso se está empezando a hacer en distintos lados, ya que los de más de 70 años sean resguardados de manera especial. Pero, claramente, no es fácil.

Hay problemas muy importantes que no estamos tratando, que son los problemas psicosociales, hacinamiento, de violencia intrafamiliar, problemas de depresión de los niños. O sea, una serie de problemas de salud que hacen todo esto extremadamente difícil, pero no hay otra solución que combinar sanidad y economía.

En todas las discusiones que ha habido a nivel mundial, la gran discusión es la combinación ECONOMÍA-SANIDAD, se ha dicho que tiene que ser un punto intermedio. El punto intermedio es el que tenemos que ir explorando, no hay atajo, ni hay modelo, hay que ir probando con error y avance.

Sra. Paula Vargas.

—*Para Luis Valenzuela. ¿Cómo les ha ido con las propuestas que ha hecho el Instituto de Ingenieros a nivel central?*

Sr. Luis Valenzuela.

—Encontramos sectores totalmente abiertos donde había información abundante, por ejemplo, el Ministerio de Vivienda que tenía proyectos andando y cuando conversamos los detalles el Subsecretario colocó tres asesores a trabajar con nosotros durante dos semanas.

En el Ministerio de Obras Públicas fue un poco más lento el proceso, pero rápidamente nos recibieron. También nos recibió el Ministro de Hacienda y fuimos invitados a ser parte del Consejo Asesor para dar nuestra opinión. Sabemos que el Plan definitivo no va a ser nuestro plan, pero sí será una contribución para elaborar un Plan definitivo.

Sra. Paula Vargas.

—*¿Cómo pueden hacer estos proyectos los municipios si en general hay muy pocos recursos?*

Sr. Luis Valenzuela.

—Lo que se necesita de los municipios es que identifiquen las necesidades; ellos tienen muy claras ideas y los recursos hay que dárselos. Existe el PMU (Plan de Mejoramiento Urbano), que son proyectos de 60 millones de pesos y los municipios pueden optar a ellos. En nuestro Plan, está propuesto duplicar el fondo para los PMU y eso es muy rápido, porque no necesitan aprobación extraordinaria. El año pasado el gasto en PMU fue de 80 millones dólares para todas las municipalidades; nosotros proponíamos duplicarlo por lo menos y eso cubre una parte de las necesidades. Otros recursos que necesitan mucho son para fortalecer a las MICROPYMES.

Pregunta Fernando Agüero. El tema de la urgencia del problema del empleo, no es tema crítico aún; la opinión pública está más preocupada de la pandemia, de las cuarentenas, las elecciones. ¿Cómo hacer que los parlamentarios, los medios, las redes den prioridad a la implementación de nuevos proyectos con menos burocracia y con los estímulos necesarios para ello?

Sr. Sergio Bitar.

—En una reunión sobre Empleo en el CPI, el Ministro de Economía hizo una exposición con bastante detalle de las medidas que se están tomando para generar empleo.

El equipo central tiene que reforzarse con más autoridad y tiene que incorporar a las regiones, a los municipios porque ellos son fundamentales. El financiamiento de los municipios ya estaba debilitado cuando cayeron las

contribuciones y todas las patentes municipales, entonces hay que hacer un esfuerzo mayor con los municipios.

Y en el empleo, hay que poner el tema, por eso lo que ha hecho el Instituto de Ingenieros de Chile, me parece muy importante y creo que con los medios de comunicación debiéramos hacer esta misma exposición y pedir ayuda.

Gerardo Walker pregunta: ¿En qué países aplicaron cuarentenas sanitarias y qué resultados tuvieron, tienes algún dato específico sobre eso?

Sr. Ricardo Bitrán.

—Hasta donde yo sé solamente el Estado de Kerala en la India aplicó cuarentenas basadas en edad, es decir cuarentenas focalizadas de las personas de alto riesgo. Y en su primera estrategia de combate del Corona Virus Israel hizo lo mismo de modo que todas las personas mayores de 65 debían quedar en sus casas y los municipios les repartían tres cajas de comida al día con una alta complejidad logística y un alto costo. Sorprende que haya habido tan poca apertura en el mundo a usar un enfoque distinto a una cuarentena general, en circunstancias de que los modelos de simulación incluyendo el de Imperial College, señalan que cuarentenas focalizadas pueden ser mucho más efectivas en proteger contra la muerte y, adicionalmente, pueden liberar recursos para que el impacto en la economía sea mucho menor y sin embargo no ha ocurrido.

Quiero mencionar también que Suecia es el país que se salió del rebaño y decidió no tener cuarentena, sino que solamente usar distanciamiento social y mascarilla registró aproximadamente 6 mil muertes para un país de 10 millones y el artífice de esa estrategia dijo que lamentaba profundamente que no se le hubiera ocurrido que, junto con dejar que la gente circulara por la calle, tenía que haber protegido en cuarentenas voluntarias a las personas mayores de 65, que son la gran mayoría de los que murieron.

Miguel Ropert pregunta. ¿Están preparadas las municipalidades para administrar este tipo de proyectos?, ¿cómo evitar temas de corrupción en el manejo de inversiones dada la baja capacidad técnica y logística de los municipios?

Sr. Luis Valenzuela.

—Hay municipalidades que pueden gestionar proyectos sin ningún problema, pero evidentemente hay una mayoría de las municipalidades que no tienen las capacidades de gestión de proyectos. Existe la disponibilidad de empresas de ingeniería que se dedican a gestión y ellas pueden ser parte del apoyo que se les dé a las municipalidades; no solamente dinero, también dinero para asistencia técnica. En lo relativo a la corrupción, en cualquier Plan de Emergencia tiene que haber algún elemento externo que lleve el control estricto de las platas que se entregan, para que se entregan, en qué se gastan y que se rindan cuenta. Esa es una condición necesaria y que el Estado debería definir y apoyar de todas maneras.

Sr. Sergio Bitar.

—Agregaría que esto es un terremoto móvil, a mí me tocó el del 2010, ¡pero ahora no se sabe lo que va a pasar! Y lo que está pasando todos los días.

Entonces en este sentido los municipios nos pueden ayudar.

Yo creo que se puede hacer, pero no veo a los municipios moviéndose, no sé si hay alcaldes en la audiencia, pero acá hay que dar una sacudida a los municipios. Hay muchos chiquitos que no van a poder ni presentar proyectos, pero hay unos grandes que sí, los grandes les pueden ayudar a los chicos. Los alcaldes son un instrumento, los municipios en las democracias modernas son crecientemente importantes.

Sra. Paula Vargas.

—*¿Cuáles son las oportunidades que creen que deja esta Pandemia?*

Sr. Ricardo Bitrán.

—Esta Pandemia demostró que es posible que haya una buena colaboración entre el Estado y el sector privado en el ámbito de la salud. Las clínicas de Chile hicieron un aporte muy importante al control de la Pandemia y a la prevención de las muertes, porque pusieron sus camas UCI a disposición del país, aumentaron su capacidad de

UCI. Ese es un ejemplo de una colaboración entre el Gobierno y el sector privado que deja un buen legado. Toda la experiencia fue buena para la sociedad.

Sr. Luis Valenzuela.

—Yo creo que todo aprendizaje deja oportunidades, y estamos aprendiendo muchas cosas. Chile estaba muy bien en varias cosas, pero tenía varios puntos débiles. La ineficiencia administrativa en el uso de la tecnología digital, por ejemplo; creo que va a venir una buena oportunidad de mejorarla. Lo mismo en la excesiva centralización del Estado. El Estado centralizado no ha sido capaz de manejar muchas cosas que debían haberla manejado a nivel local. Para eso hay que dar los recursos y la infraestructura que necesitan las comunidades locales y municipalidades, eso yo creo que va a ser un gran aporte a la solución de problemas e ineficiencias.

Lo otro es todo lo que se ha desarrollado la comunicación telemática que hoy en día ya se ha transformado en una gran oportunidad.

Sr. Sergio Bitar.

—Hay una discusión mundial hoy día que es ¿cómo usar la capacidad de anticipación de los eventos que ocurren? Acuérdense de esta charla que dio Bill Gates hacia el año 2015 sobre las pandemias. Ayer entré de nuevo a verla, ¿saben cuánta gente la ha visto?, 36 millones de personas. Y claro habló de las pandemias que era el peligro más grande, nosotros tenemos que desarrollar una capacidad de anticipación. Si desarrollamos una capacidad de anticipación, hoy día podemos diseñar dos escenarios. Hay un escenario que es el que uno tiene en las narices, va a haber más hambre, más pobreza, va a haber más enfermedades, no tenemos trabajo, el país se va a hundir, ingobernabilidad global, los chinos y los norteamericanos se están golpeando. O sea, tienes un escenario negativo.

Esta crisis de la pandemia está abriendo oportunidades que no habíamos visto, o que no había fuerza social para cambiar. Y además en Chile nos tocó un Estallido Social y Pandemia conjuntas, entonces, ya tenemos desafíos completamente nuevos. Ricardo Bitrán ya mencionó el fuerte empuje a la reforma del Sistema de Salud, que es lo primero que va a cambiar.

Vamos a tener que ir de todas maneras a un pacto social nuevo. Eso va a significar cambios tributarios, una sociedad más pareja y generar condiciones de paz, de unidad, que permitan la innovación, la creatividad y capacidad empresarial. La capacidad empresarial crece cuando hay paz interna en un país.

Luego va a estar el tema digital que mencionó Luis Valenzuela. Vamos a tener que ir mucho más fuerte en un Plan Digital que alcance a todos.

Vamos a entrar a una reforma del Estado para ver cómo lo hacemos más eficiente, cosa que también estábamos discutiendo ahora. Y convocatorias nuevas para diseño estratégico, de apoyo en unidad con el sector privado, con las organizaciones sociales, que es lo que uno ve en Asia, que funciona mejor que de lo que funciona acá.

Y hablar del medioambiente que, creo que se nos viene encima con una intensidad en Chile y en todo el mundo muy fuerte y que la pandemia podría generar un cierto sentido de solidaridad y menos egoísmo en los seres humanos.

Y, por último, la democracia, si nos descuidamos estas condiciones de temor, incertidumbre, hambre pueden conducir a populismos muy peligrosos, extremos peligrosos. Entonces, hay que resguardar y proteger las condiciones para una democracia estable y fructífera, por eso yo hablo tanto de acuerdos básicos para que podamos mantener una democracia que nos ayude a resolver mejor los problemas, es una gran oportunidad. El desafío es que la oportunidad se va a hacer en un clima de dificultades y de pobreza mayores que en el pasado.

Término del Foro.

FORO: “EL ESTADO, SU EFICIENCIA, SU ROL Y LOS DESAFÍOS FUTUROS”

Panelistas: Sres. Patricio Meller, Guillermo Larraín y Mauricio Villena.



Sr. Patricio Meller.



Sr. Guillermo Larraín.



Sr. Mauricio Villena.

El día jueves 26 de noviembre de 2020 a las 17:00 horas, vía zoom, se dio inicio ante una gran cantidad de asistentes al Foro: “El Estado, su eficiencia, su rol y los desafíos futuros”, desde una perspectiva de largo plazo del desarrollo económico de Chile, hasta las proyecciones del déficit fiscal y los desafíos del futuro; contó con las exposiciones de los Sres. Guillermo Larraín, Patricio Meller y Mauricio Villena, y como moderador con el Sr. Ascanio Cavallo.

Patricio Meller es Doctor en Economía y Master en Ciencias Ingeniería, U. California, Berkeley; Ingeniero Civil de la Universidad de Chile; Profesor Titular Ingeniería Industrial, Universidad. de Chile; Investigador de CIEPLAN; Director CODELCO (2000-2006); Profesor Visitante U. California-San Diego, U. Oviedo, U. Notre Dame y U. Boston.

Guillermo Larraín es Ingeniero Comercial y Magíster en Economía, Pontificia Universidad Católica de Chile; Ph.D. en Economía, Paris School of Economics; Académico, Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile; investigador.

Mauricio Villena es Ingeniero Civil Industrial, Doctor y Master Universidad de Cambridge, Inglaterra; Master del Leeds University Business School, Universidad de Leeds, Inglaterra; ex subdirector de la DIPRES; actual Decano de la Facultad de Economía y Empresa, Universidad Diego Portales.

A continuación, se reproducen las intervenciones de cada uno de los panelistas y al final, las preguntas moderadas por don Ascanio Cavallo.

El Presidente.

—Muy bienvenidos a un nuevo Foro organizado por el Instituto de Ingenieros de Chile. En esta ocasión, conversaremos sobre “El Estado, su eficiencia, su rol y los desafíos futuros”. Para esto hemos invitado a destacados profesionales para que planteen sus visiones y reflexiones sobre el Estado, las que luego debatirán en una discusión libre y espontánea moderada por don Ascanio Cavallo, columnista y periodista político.

Sr. Patricio Meller.

“Perspectiva de Largo Plazo del Desarrollo Económico Chileno”.

—Daré una perspectiva breve, de la historia económica chilena de los últimos 140 años. El criterio ordenador será el motor de crecimiento, acorde con la visión de ciertos sectores productivos y políticas económicas.

Al revisar la estrategia de desarrollo, entonces hay que destacar el rol del Estado y también el rol del Mercado. En nuestra historia tenemos periodos clave de fundamentalismo de Estado; voy a revisar brevemente el modelo económico de la Unidad Popular: También tenemos el fundamentalismo de mercado; en este caso veremos brevemente el modelo económico del Gobierno Militar. Luego voy a fundamentar y justificar cómo la historia de estos dos fundamentalismos explica el nivel de polarización que tenemos incluso hoy día.

Finalmente, y para no quedarme solo en la historia, vamos a hablar del mundo post pandemia y del capitalismo inclusivo. Terminaré con el rol del Estado, ventajas comparativas dinámicas y la alianza público-privada.

En esta visión histórica según sectores y política, lo primero por destacar es que, siempre en la historia económica chilena, las exportaciones de recursos naturales (RRNN) han desempeñado un rol central. Esto parte con el salitre, en los 50 años que van desde 1880 a 1930.

Pero después, el salitre es sustituido por el cobre en un periodo de 50 años, que va desde 1940 a 1990, en que las exportaciones de cobre chileno representan el 16% de las exportaciones mundiales. Esto cambia de 1990 en adelante en que el cobre chileno representa el 30% de las exportaciones mundiales. Chile adquirió gran

importancia después de 1990 en las exportaciones de cobre mundial.

El segundo sector que constituye un motor de la economía es el sector industrial, en el periodo 1940–1973, a través de la estrategia de desarrollo llamada Industrialización basada en la sustitución de importaciones. La industria se considera en este periodo como el sector económico clave.

Luego viene la apertura externa de 1973 a 1985 con la liberalización de las importaciones; se abre la economía y las importaciones inundan Chile y desempeñan un rol muy importante. Desde 1985 a 90 viene lo que llamamos la promoción de exportaciones

Desde 1990 al 2015, ya hay otros componentes que ayudan y complementan esta promoción de exportaciones. La inversión extranjera directa, los Tratados de Libre Comercio. Además, hoy exportamos no solo cobre dentro de los RRNN, sino una vasta gama de recursos naturales que incluye salmón, fruta, productos forestales, vinos y otros.

En la Figura A1, se indica el PIB per cápita de Chile respecto el PIB per cápita de Estados Unidos en cada año en cuestión.

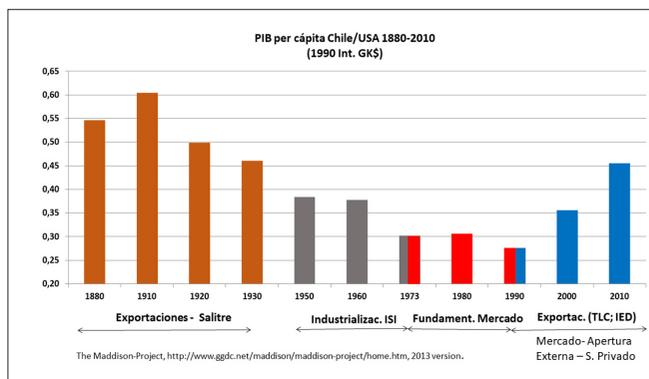


Figura A1

En 1880 el PIB per cápita de Chile era casi el 55% del PIB per cápita de Estados Unidos de ese año. En 1910 supera el 60% del PIB de Estados Unidos de ese año. Esto ilustra que, gracias al Salitre, en nuestra historia económica es cuando hemos estado más cerca del PIB per cápita de Estados Unidos. Solo recién ahora del 2010 hacia adelante estamos recuperando o alcanzando el nivel que teníamos en 1930, que coincide con la gran depresión de los 30.

De 1950 a 1960 hasta 1973, tenemos la industrialización basada en la sustitución de importaciones. Desde 1970 a 1973 tenemos el fundamentalismo de Estado; y de 1973 a 1990 tenemos el fundamentalismo de mercado. De 1990 en adelante las exportaciones de RRNN, los Tratados de Libre Comercio, la inversión extranjera y con mercado, apertura externa, y el sector privado empujan la economía chilena a cerrar la brecha que tenemos con respecto al PIB per cápita de Estados Unidos.

Bien, veamos brevemente el modelo económico de la Unidad Popular del periodo 1970-1973 que se caracteriza por el fundamentalismo de Estado; implica solo importa el Estado y nada el Mercado. En este caso en particular, nada de mercado ni sector privado.

¿Cuál es el diagnóstico del Gobierno de la Unidad Popular? La economía chilena es monopólica, un sector monoexportador en poder de empresas extranjeras, es oligárquica, prevalece el latifundio en el agro y es capitalista. Recuérdense que estamos en el siglo XX, Guerra Fría que implica el conflicto Estados Unidos - Unión Soviética, socialismo versus capitalismo. En este diagnóstico del Gobierno de la Unidad Popular, los mercados oligopólicos generan precios distorsionados y rentas que no son reinvertidas y esto explica el bajo crecimiento que tuvo hasta 1970 la economía chilena.

¿Cuál es la solución que plantea el Gobierno de la Unidad Popular? Que el Estado tome el control de la actividad económica para aumentar el crecimiento. El Estado será el productor de la infraestructura básica y las empresas estatales debieran tomar el control de la producción. El Estado puede planificar y guiar el desarrollo económico. Esto implica que va a controlar los excedentes. Al aumentar los excedentes hay más recursos para la inversión y al haber más inversión va a haber más crecimiento.

Consistente con este diagnóstico, la Unidad Popular plantea las siguientes reformas estructurales: nacionalización de la minería, estatización de las grandes empresas productivas, las que corresponden a la llamada Área de propiedad social, la estatización de la Banca, la reforma agraria, el control estatal de las empresas de distribución y comercialización. En breve, el control del Estado de la producción, lo que implica el fin de las empresas productivas privadas.

En las políticas macro, el objetivo central es el control de la inflación. ¿Cómo se controla la inflación? Vía control de los precios.

Por último, lo que se plantea es que la política macro corto plazo es importante para reactivar la economía y redistribuir el ingreso. El primer año de Gobierno de la Unidad Popular (1971) se plantea aumentar los salarios reales en 20%, y el gasto social real en 40%.

Esto lo que se denominaría Fundamentalismo de Estado.

Bien veamos ahora lo que es el modelo económico del Gobierno Militar de 1973 a 1989. Este es lo que se llama Fundamentalismo de Mercado que implica solo Mercado – Nada de Estado.

¿Cuál es el diagnóstico que hacen los fundamentalistas de mercado? Los problemas de Chile se inician en 1930 con la noción de reparto y con el Estado que opera a lo “Robin Hood”, que quita a los ricos para darle a los pobres. Para que el Estado cumpla su rol distributivo requiere que aumente la manipulación de las variables económicas centrales: precios – tasa de interés y tipo de cambio. Estos son manipulados por el Estado y le permite entrar a tratar de incrementar su concepción de reparto y redistribuir ingresos. Adicionalmente hay un incremento en la burocracia estatal, nacionalización y estatismo, planificación estatal y el Estado es el gestor del bien común.

Esa es la imagen que tienen los *Chicago Boys*, los fundamentalistas del mercado, sobre cómo está operando la economía chilena; la economía chilena se caracteriza por una relación paternalista y clientelista entre el Estado y la Sociedad. El Estado da y la Sociedad espera beneficios o lo que se diría hoy, derechos sociales.

Esto implica que el Estado adquiere gran poder discrecional y el éxito de cualquier actividad productiva privada depende de la conexión política.

¿Cuál es la solución entonces planteada en este esquema de Fundamentalismo de Mercado? Que hay que sacar totalmente al Estado de la economía (el famoso *laissez-faire* de Adam Smith)

Esto lo sintetiza muy bien Ronald Reagan, el presidente norteamericano, que dice “Si el Estado es el problema, no puede ser parte de la solución”, saquémoslo de la economía.

¿Y cuáles son las reformas estructurales planteadas por los Fundamentalistas de Mercado?

La trilogía estructural, precios libres (mercados libres), apertura externa (libre comercio) y sector privado como agente motor de la economía totalmente desregulado.

El equilibrio macro, el problema que teníamos buena parte del siglo XX en Chile, que se arrastraba desde fines del siglo XIX es la inflación. ¿Cómo bajar la inflación? Hay que eliminar el déficit fiscal y además hay que reducir la deuda externa que tiene el Estado.

Bottom line o raya para la suma. El mercado lo resuelve todo, el mercado es un mecanismo impersonal, descentralizado, eficiente, estabilizador que nos lleva al equilibrio que, además, tiene la característica de ser el óptimo social.

¿Cuáles son las implicancias de política económica que surge aquí? Que la mejor política económica es no hacer nada. Dejar que el mercado resuelva todo. Ese es el rol del mercado, esas son el set de políticas económicas una vez que se implementan estas reformas estructurales.

El Fundamentalismo de Estado y el Fundamentalismo de Mercado que he descrito recientemente, desde el punto de vista económico, son factores centrales de la polarización actual.

Estos fundamentalismos no son solo diferentes en la estructura que plantean para la economía y las políticas económicas, son distintas visiones de las personas y de la sociedad.

Contrastemos: la visión de Fundamentalismo de Mercado con la visión de Fundamentalismo de Estado (Figura A2).

Estas visiones dicotómicas corresponden a la Guerra Fría siglo XX: 1940-1990 – EEUU- URSS.

En siglo XXI – las dicotomías Fundamentalistas Mercado o Estado han sido superadas (Figura A3).

En el mundo post pandemia se habla de capitalismo inclusivo, “nadie se queda atrás, nadie se queda afuera”.

Quiero aclarar rápidamente el rol de Mercado que se plantea hoy y refutar lo que plantea el Fundamentalismo de Mercado que sigue estando muy en boga actualmente.

El Fundamentalismo de Mercado plantea que el Mercado resuelve todos los problemas, y es un sistema automático que se autoestabiliza solo. El Mercado es un mecanismo

Fundamentalismos y Polarización	
• Fundam. Estado y Fundam. Mercado son factores centrales de la Polarización actual No son sólo ≠ en Estructura y Políticas econ. – Son ≠ visiones de personas y Sociedad	
• Visión Fundamentalismo Mercado	Visión Fundamentalismo Estado
• Privilegia Libertad y Individualismo	Privilegia Igualdad y Solidaridad
• Maxim. Bienestar Personal	Maxim. Bienestar Social
• ↑ Bienes Consumo Individual	↑ Bienes Públicos y Colectivos
• Trayectoria Vida: Esfuerzo Personal	Trayectoria Vida: Cuna y Contactos
• ∃ Movilidad Social e Igualdad Oportunidades	No ∃ Movil. Social ni Igualdad Oportunid.
• Reglas Estables y Control Conflictos	Cuestiona statu quo y Concentr. Poder
• Maxim. Crecimiento y Gradualidad	Disminución de todas las Desigualdades ya
• Rol E: Proteg. D. Propiedad/Ley y Orden	Rol E: Asegurar c/u Vida Digna acorde XXI
• Estas visiones dicotómicas corresponden a Guerra Fría siglo XX: 1940-1990 – EEUU- URSS	
• En siglo XXI – dicotomías Fundamentalistas Mercado o Estado han sido superadas	

Figura A2

MUNDO POSTPANDEMIA – Capitalismo Inclusivo
“nadie se queda atrás” – “nadie se queda afuera”
Clarificación Rol Mercado – Refutar Fundamentalismo Mercado (F.M.)
F.M. -- Mercado resuelve todos problemas – Sistema automático q se autoestabiliza solo
Mercado: mecanismo muy eficiente para la asignación de recursos escasos para producir Bs y S.
F.M. -- Fuerzas del Mercado son equivalente a un “fenómeno natural” e impersonal
Pero: No hay automaticidad del Mercado – Sector privado no se autorregula – Mercado no resuelve todo
Mercado no puede resolver crisis graves y sistémicas – Estado tiene q evitar colapsos totales
Mercado no es un fenómeno de la Naturaleza -- sino q es una creación del hombre
No hay Mercado sin Estado – Reglas Mercado están diseñadas por la Sociedad
=> La Sociedad no tiene pq someterse a las reglas impersonales del Mercado
Sociedad define las Prioridades -- Sociedad define en que bienes y servicios no se usa el Mercado
El Mercado tiene que respetar las prioridades de la Sociedad
Ciertos servicios no pueden ser satisfechos por el Mercado; ej. salud
Pandemia – Mercado es incapaz de resolver el problema -- Ni tampoco el sector privado
Se necesita intervención del Estado y coordina nivel país uso infraestructura Médica
En general se necesita un Estado activo -- regula y supervisa funcionamiento competitivo del Mercado

Figura A3

muy eficiente para la asignación de recursos escasos para producir todos los bienes.

Se plantea que las fuerzas del Mercado son equivalentes a un fenómeno natural e impersonal. Pero la verdad es que no hay automaticidad del mercado, el sector privado no se autoregula, el mercado no resuelve todo, el mercado no puede resolver crisis graves y sistémicas y el Estado tiene que evitar los colapsos totales.

El Mercado no es un fenómeno de la naturaleza, sino que es una creación del hombre. No hay Mercado sin Estado, las reglas de mercado están diseñadas por la sociedad, luego la sociedad no tiene porqué someterse a las reglas impersonales del Mercado.

La sociedad define las prioridades. La sociedad define en qué bienes y servicios no se usa el mercado. El Mercado tiene que respetar las prioridades de la sociedad. Ciertos servicios no pueden ser satisfechos por el mercado, el mejor ejemplo es Salud.

En la Pandemia, el Mercado ha sido incapaz de resolver el problema, y tampoco el sector privado. Se ha necesitado la intervención del Estado y su coordinación a nivel país para el uso de la infraestructura médica.

Estamos en el siglo XXI, siglo en que prevalece la globalización; hay un mercado mundial muy competitivo y con muchas y frecuentes innovaciones tecnológicas. Entonces, ¿cómo se inserta Chile en este mundo considerando que otros países tienen visión de largo plazo y estrategia de inserción?

La respuesta. Hay que construir un horizonte de largo plazo y hay que sustituir la dicotomía Mercado o Estado por la complementación de Mercado y Estado, con una acción conjunta del sector público y sector privado.

El Estado coordina la acción conjunta del sector público y sector privado, para elaborar la estrategia de desarrollo de largo plazo y generar ventajas comparativas dinámicas. Muchos casos exitosos de alianzas público-privadas para adquirir estas ventajas comparativas dinámicas, son los casos de países que menciono a continuación: Finlandia, Irlanda, Malasia, República Checa, Singapur, Suecia.

Aún más, 15 países que en 1960 eran países en desarrollo usaron políticas selectivas público-privadas y 14 de ellos cerraron la brecha de ingreso per cápita con respecto a Estados Unidos.

El principal caso de Estado activo en orientar y guiar las actividades del sector privado es Estados Unidos. Promueve y financia la aviación, uso para fines pacíficos de la energía nuclear, la computación, financia la biotecnología y fuentes energéticas no convencionales.

En el caso chileno también tenemos algunos casos en que el Estado ha elaborado programas como Chile-California que incrementó la agronomía; las escuelas de agronomía facilitaron las exportaciones de fruta, Salmón (Fundación Chile), Forestal con subsidios públicos en la década del 70 y solar en que la Fundación Chile ayuda en esto al Estado con las licitaciones.

Para terminar la alianza, Público-Privada, muestra que en democracia se puede hacer lo que no pudo hacer en dictadura.

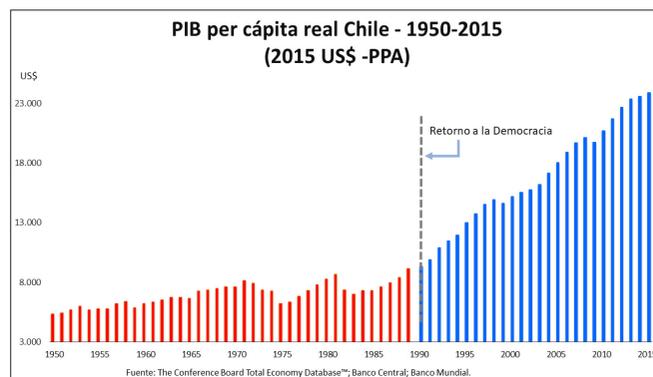


Figura A4

El la Figura A4 proporciona el PIB per cápita de Chile 1950-2015. Desde el retorno a la democracia en 1990 es posible apreciar la gran diferencia existente con respecto a los 40 años anteriores; i.e., los 30 años de la democracia versus los 40 años anteriores. La democracia tuvo bastante que ver en establecer una trayectoria de crecimiento muy superior a lo que era habitual previamente.

Muchas gracias.

Sr. Guillermo Larraín.

“La eficiencia del Estado Chileno los últimos 30 años”.

—He trabajado en el Estado bastante tiempo, salvo cuando he estado en la universidad o en directorios de empresas privadas. Trabajé en el Ministerio de Hacienda, en la Superintendencia de Valores y Seguros, en la Superintendencia de AFP, en el Banco Estado fui Presidente y estoy ahora en la Universidad de Chile desde el 2011 y cuando no he estado en cargos de Gobierno hago consultorías. En general hago más bien consultorías a Estados.

La verdad es que el Estado es un bicho muy raro, es un bicho complejo, aparentemente muy grande, pero al mismo tiempo muy frágil, muy vulnerable a capturas internas y externas. Voy a hablar un poquito de eso acá.

Pero la felicitación tiene que ver con el hecho de que creo que efectivamente, como dijo Patricio Meller hacia el final de su presentación, creo que el futuro económico chileno en un plazo muy largo pasa por esa alianza público-privada. Pero, como voy a mencionar acá, una alianza público-privada así, hecha a tontas y a locas, en la práctica puede resultar exactamente lo contrario de lo que

queremos. Porque si tenemos un Estado débil, un Estado vulnerable, va a ser comprado por intereses particulares y terminar solo en corrupción y sin crecimiento. Entonces, si ustedes quieren como una condición habilitante de lo que mencionaba recién Meller y, estoy totalmente de acuerdo con ese enfoque, una condición habilitante es tener entonces un Estado Eficiente, un Estado lo más parecido al ideal Weberiano que voy a describirles a continuación.

Aprovecho de hacer un poco de publicidad, ya que lo que les voy a hablar está basado en un libro que va aparecer ahora por el Fondo de Cultura Económica dentro de un mes más o menos, ojalá que esté para Navidad y que lo puedan leer para esa fecha.

Ahí, básicamente el Capítulo 9, habla exactamente lo que les voy a comentar ahora, que es justamente sobre el Estado, y este Capítulo tiene una vocación bien rara porque trata de Hablar sobre la Burocracia y creo que todo el mundo debe pensar “que cosa más aburrida la burocracia” y bueno tienen razón es aburrido, pero es tan desafiante, tan importante el tema que quiero manifestarles al menos que tengo la convicción de que este es un tema de primer orden de importancia y sobre el cual realmente discutimos poco.

Hay que partir por reconocer que el Estado chileno es en cierta forma líder en eficiencia a escala latinoamericana. En América Latina en general, los Estados son enormemente grandes y tienen problemas muy básicos. Por ejemplo, hace un par de meses atrás me contrataron para hacer una consultoría de un nivel bastante básico, de pago de salarios dentro del Estado. Formamos un equipo para hacerlo, no puedo mencionar exactamente qué país es, pero es un país del Pacto Andino y pongámoslo en esos términos; un Estado que no sabe siquiera cuántos trabajadores tiene y no se les paga a tiempo. O sea, el Estado chileno en ese sentido es un Estado que para el estándar latinoamericano funciona relativamente bien.

Sin embargo, esto es una idea tramposa por, yo diría, cuatro razones. Una, claro es un Estado relativamente eficiente para lo que hemos hecho hasta ahora, pero está bastante lejano del estándar o del ideal para hacer viable lo que mencionaba Meller como una nueva estrategia de desarrollo, yo creo que estamos, pero lejos, lejos, lejos de eso. Y, por lo tanto, mirar las cifras o mirar el vecindario y ver cómo estamos nos deja muy mal parados.

¿Por qué esa situación? El Estado chileno funcionó relativamente bien cuando las grandes reformas que estaban siendo implementadas, estoy hablando de los años 80 y 90, eran reformas macroeconómicas que básicamente lo que requerían era tener un Ministro de Hacienda competente; y en general los tuvimos y básicamente un grupo de asesores competentes que también los tuvimos, pero después era básicamente dejar que el mercado funcionara en la lógica fundamentalista de los años 80, luego menos fundamentalista, pero bastante anclada en la acción del mercado en los años 90 y posteriores.

Sin embargo, a medida que la sociedad fue evolucionando, que las necesidades económicas del país fueron haciéndose más exigentes. Empezamos a requerir de las agencias públicas un nivel de detalle, de prolijidad, de conocimiento, de previsión que fue mostrando que no teníamos lo que quisiéramos. Hay algunos servicios públicos que han sido en este sentido como líderes en justamente en mostrar fallas del Estado gigantesco. Los dos que a uno se le vienen a la mente más claramente es el SENAME y SERNAGEOMIN, que han estado en la palestra por escándalos importantes de su propia gestión en años pasados.

Entonces, el Estado chileno partió siendo muy eficiente, muy ágil, el desarrollo del país acusaba que el crecimiento económico post dictadura había sido extraordinario, y también fue subiendo el estándar del Estado, pero no ha tenido cómo mantener el paso.

El tercer elemento tiene que ver con la corrupción. El Estado chileno fue relativamente poco corrupto. De hecho, los estándares de transparencia internacional muestran a Chile como un país poco corrupto y el Estado con niveles bajos de corrupción en todos los niveles. Sin embargo, han empezado a aparecer hace varios años síntomas preocupantes de corrupción en muchos niveles. En el nivel municipal, eso más o menos se sospechaba, pero se ha ido ratificando por problemas que hay en distintas áreas de la esfera municipal hasta instituciones que habíamos básicamente pensado que habían cometido crímenes de lesa humanidad en algún minuto, pero que eventualmente no eran corruptas y resultó que hemos descubierto el fraude, pero a escala mayor en las FFAA y Carabineros; entonces, la verdad es que nos dimos cuenta que también hay una corrupción bastante grande ahí. Para qué hablar sobre los financiamientos de la política, fue el gran escándalo que fue desarrollándose durante los años 2000 y que hasta el día de hoy todavía tiene a

mucha gente en el banquillo de los acusados, entonces, la corrupción ha ido también entrando al sistema estatal y generando problemas.

La cuarta cosa que nos hace pensar que es muy preocupante lo que está pasando en el Estado, tiene que ver con la globalización. Porque cuando uno vive en una comunidad pequeña, circundada por la cordillera, el desierto, el mar, la Antártida, uno puede identificar el tipo de riesgo que te puede tocar, pero cuando uno se globaliza como está globalizada la economía chilena, como está integrada en lo comercial, en lo financiero, etc., entonces la verdad es que empiezan a aparecer un montón de riesgos que son difícilmente identificables y que requieren de parte de cualquier Estado, no solo de Chile, una capacidad de gestión realmente impecable, muy eficiente. Eso ha quedado en evidencia con la gestión de la Pandemia. Acá tenemos un tipo de shock muy raro que no nos había tocado en los últimos 100 años aproximadamente y que ha requerido del Estado una reacción muy rápida, se han cometido errores y se ha ido convergiendo probablemente a estándares más o menos aceptables, pero al inicio le costó al Estado ponerse al día en esta Pandemia.

Entonces yo diría que, tenemos un Estado que no está mal para el estándar internacional, pero por las cuatro razones que he mencionado, requiere con urgencia, un esfuerzo de modernización importante.

Y la pregunta es ¿Qué modernización queremos hacer?, ¿queremos hacer que el Estado chileno se parezca a una empresa gigantesca o en realidad se requiere una atención particular? Lo que voy a argumentar es que la naturaleza del Estado es tal, que necesitamos una cosa distinta de pensar que el Estado en una empresa grande y que es solo un problema de gestión; el Estado tiene una naturaleza distinta.

Déjenme partir justamente por cuál es el ideal burocrático. El ideal del Estado burocrático lo definió Max Weber a finales del siglo 19 en Alemania. Lo que Weber decía es que el Estado, idealmente, debiera ser impersonal, un Estado que no favorezca a unos individuos respecto de otros, que tenga criterios estables y no discriminatorios de su función, de manera que fije reglas del juego que les permita a los ciudadanos establecer patrones de acción más o menos predecibles y que no van a estar sujetos a arbitrariedades de nadie. Y eso requiere por lo tanto una estructura racional de gobernanza, y esa estructura

en el Estado Weberiano requería una jerarquía, requería supervisión, requería autoridad y promoción a través del mérito, eso son los cuatro criterios básicos del funcionamiento del Estado impersonal.

Esto es bien interesante ya que Weber, lo que hace es conceptualizar lo que él veía en el terreno; el Estado alemán fue dotándose de estas características mencionadas para poner a raya al Emperador, al Reich. Como había una carencia democrática en Alemania, se establece la burocracia Weberiana en este sentido, para ponerle límite al abuso y a la arbitrariedad del Emperador.

Quiero acá resaltar una cosa que está siempre en juego en todo este tipo de cosas, incluyendo algunas como las que mencionaba Meller respecto del desarrollo económico, que es la competencia, los benchmark contra los cuales juzgamos nuestra propia acción. En el caso alemán ese benchmark era Francia. Francia y Alemania han tenido siempre una relación de amor y odio. Y entonces en la Francia post revolucionaria también se desarrolló una carrera burocrática profesional y que también (esto es bien importante) pretendía detener el abuso no del Emperador (porque después de Napoleón, desapareció) pero sí respecto de la política. Porque la política también puede ser arbitraria, también puede ser poco predecible, entonces el Estado burocrático francés a diferencia del alemán se desarrolló y buscó la misma solución, pero básicamente para poner a raya al mundo político que era impredecible. Entonces vemos que tanto para proteger al ciudadano de la arbitrariedad del Reich o para proteger al ciudadano de la inestabilidad del sistema democráticos, surge un esquema burocrático que tanto en Francia como en Alemania se parecen bastante y que tiene estas características que Max Weber reflejó.

Ahora, una cosa interesante, en esta competencia entre Francia y Alemania, que es externa a los Estados, la burocracia alemana se comparaba con la burocracia francesa. Incluso hay cuentos muy divertidos, de cómo competían estas dos burocracias.

Pero también es posible la burocracia interna, la competencia interna. Dado que Chile es líder dentro de América Latina nos va a costar a entrar a una competencia sobre competir con la burocracia peruana o con la burocracia boliviana o con la argentina; no son benchmark. Lo que sí es interesante, es que el caso norteamericano muestra que uno puede tener competencias internas.

Francis Fukuyama habla del Estado norteamericano en el siglo XIX y lo caracteriza como clientelista y corrupto, hasta que ocurre algo muy especial, que fue la creación del US Forest Service, que básicamente controlaba los grandes parques nacionales, que en aquella época eran realmente gigantescos, eran mucho más grandes que Chile, que varios países latinoamericanos, porque eran todas las tierras; Estados Unidos se estaba expandiendo hacia el oeste y el Estado estaba acumulando tierras. El US Forest Service, es quien básicamente el que se encargó de gestionar esos territorios gigantescos.

Ese fue el primer prototipo dentro de Estados Unidos que adquirió el tipo de estructura que básicamente se parecía al alemán o al francés. Es decir, era una burocracia que tenía estabilidad en sus funciones para poder aprender, para poder generar políticas de largo plazo y estaba altamente tecnificada con ingenieros agrónomos e ingenieros forestales.

De hecho, hay un personaje, el nombre no lo tengo ahora, que se transformó en el icono de esta burocracia estatal.

Ahora, para poder entender ¿Qué puede hacer uno por el Estado?, tiene que entender los incentivos. Y el problema que tienen los incentivos dentro del Estado es que son extraordinariamente complejos. Hay multiplicidad de objetivos como, por ejemplo, los objetivos del Registro Civil, de Impuestos Internos o de Aduana son muy distintos unos de otros. Y eso hace que se sea muy difícil comparar unos con otros.

Otra característica que John Thibaut menciona como estructural de los Estados, tiene que ver con que la relación entre el Estado y su cliente que son los ciudadanos. El ciudadano se enfrenta monopólicamente con el Estado, por lo tanto, el Estado tiene que ir respondiendo a las necesidades de los ciudadanos que son muy heterogéneas y cambiantes, y cambian de forma poco atractiva.

De manera que lo que dice John Thibaut, es que muy difícil aplicar la gestión privada, la gestión académica si ustedes quieren, a la gestión estatal que tiene lógicas que son específicas.

Ahora, hay mucho escepticismo sobre esto que estoy planteando de la burocracia. Uno lo planteó de forma muy dramática Hannah Arendt, cuando constataba quién era Adolf Eichmann, este tipo que estaba a cargo de los campos

de exterminio nazi y ella señala que tenía la imagen de alguien que iba a ser lo más cercano al demonio y, constató, cuando asistió al juicio que parecía ser lo más cercano a una persona común y corriente que, según él, obedecía órdenes. Es lo que apareció en el libro que ella escribió, después de cubrir el juicio de Eichmann en Jerusalem.

De ahí que hay un escepticismo respecto de la burocracia porque puede transformar también a seres con poca capacidad de discernimiento y que pueden obedecer cualquier tipo de órdenes.

Pero más allá de eso, hay una escuela de pensamiento económica que se llama Public Choice que trata de entender el funcionamiento del Estado desde la perspectiva de los incentivos; por supuesto con una forma de entender los incentivos muy propia de Public Choice. Lo que trata es de negar cualquier tipo de misión o de orientación que puede tener el servicio público y lo único que dice esta escuela es que los funcionarios públicos tratan de maximizar su poder, con alguna función de utilidad poco clara.

Esa escuela fue muy influyente en el mundo, pero tuvo una caída en la Inglaterra de los años 90, con una nueva denominación que se llamó el New Public Management, que tuvo una implantación en Chile. Esta escuela básicamente se implantó en Chile durante el Gobierno de Ricardo Lagos, con Mario Marcel como Director de Presupuesto y lo que trató de hacer fue generar mecanismos de evaluación del desempeño e incentivos relativamente bien focalizados para que los funcionarios públicos tuvieran un desempeño adecuado.

La joya de la corona de esta política de New Public Management fue la creación de la Alta Dirección Pública el año 2003 que, hoy, determina la selección en Chile de, supuestamente, 1507 puestos de trabajo en el Estado chileno que se designan a través de este mecanismo.

El problema que estamos teniendo hoy día es que los cargos que están siendo otorgados por medio de la Alta Dirección Pública son relativamente pocos; más bien se han ido reduciendo, se han ido quedando, no en las instituciones de primer nivel, sino que en segundo nivel. Además, se ha ido dejando de lado la idea de la alta burocracia, para preocuparse del funcionario público medio. Ese funcionario que está en el día a día, el que tiene que implementar las políticas diseñadas por esta Alta Dirección Pública.

Entonces, a la luz de lo dicho, acá tenemos en el Estado un cierto trade off entre si queremos tener captura interna o captura externa, porque los Estados siempre van a estar capturados.

Y esto me parece bien importante: el ideal de no captura no existe. Cuando la burocracia es débil, la probabilidad de que caigamos en captura externa, es decir, corrupción o captura por parte de grupos de interés, es mayor. La alternativa es captura interna, es decir, que los funcionarios públicos capten para sí prebendas, algún tipo de tratamientos particular, preferencial. De alguna forma la discusión sobre el rol del Estado tiene que hacerse con este trade off de fondo.

¿Cuál queremos? Creo personalmente que es preferible tener captura interna que captura externa, pero solo constato que todos los países desarrollados tienen cuerpos burocráticos grandes y niveles de corrupción menor.

Y termino con esto, la alternancia en el poder ha ido agravando la situación de debilidad de la burocracia chilena porque durante el Gobierno Militar había una regla, que a muchos no nos gustaba, pero que fue generando incentivos relativamente estables dentro del Estado. Luego la Concertación, durante sus 20 años de gobierno, básicamente fue generando lo mismo, líneas de acción más o menos predecibles durante 20 años. La alternancia en el poder develó una debilidad de nuestra burocracia y crecientemente nos damos cuenta de que el Servicio Público tiene más y más problemas para ir cumpliendo su función.

Les doy un solo dato que está en el libro que les mencioné, acerca de la rotación de funcionarios públicos, de acuerdo con un estudio de la OECD sobre recursos humanos. El mejor es Canadá, el peor es Chile. ¿Cuántos asesores de los Ministros cambian en el caso de Canadá cuando hay un cambio de Gobierno? 5% máximo. ¿Cuántos en Chile? 95%. ¿Cuántos altos directivos de primera o segunda línea? En el caso de Canadá 5% máximo. En el caso chileno, 95%, directivos intermedios, exactamente la misma proporción, en Canadá menos del 5%, en Chile entre 50 y 75%. O sea, la Alta Dirección Pública no está logrando estabilizar los altos cargos de la administración del Estado y eso me parece que es grave, porque para que pueda funcionar la estrategia que mencionaba Meller, a la cual yo me adhiero 100%, requerimos un Estado mucho más estable y profesional que lo que tenemos hoy día.

Muchas gracias.

Sr. Mauricio Villena.

“La Regla Fiscal en Chile y nuestra capacidad de enfrentar desafíos a futuro”.

—Explicaré lo que es la Regla Fiscal, veré la política fiscal en perspectiva, muy breve, y después qué es lo que ha sido en tiempos de pandemia y las proyecciones al 2022-2025, el escenario post pandemia. Terminaré con el desafío respecto de la política fiscal en la nueva Constitución y lo que se viene y lo que tenemos que definir para el futuro de Chile (Figura B1).

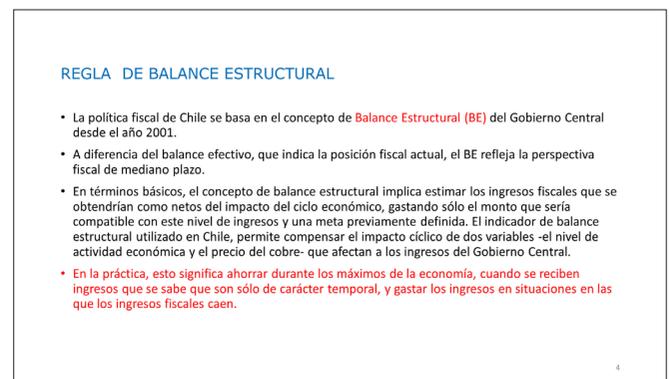


Figura B1

La Regla Fiscal en términos sencillos consiste básicamente, en ahorrar parte de los ingresos que recibe el Estado, cuando no es necesario gastar esos ingresos. En otras palabras, si estamos en tiempo de boom económico, no hay recesión, hay empleo, hay consumo y tenemos muchos ingresos para el Estado, los guardamos en los Fondos Soberanos y en contrapartida, cuando tenemos una crisis económica tenemos esos ahorros o recursos para ocupar.

Esta Regla Fiscal, que parece obvia, ha contribuido mucho en los años de prosperidad del país. Y hay economistas que luego del retorno de la democracia requieren, yo creo, las mayores felicitaciones y reconocimientos, entre ellos el actual presidente del Banco Central Mario Marcel, Nicolás Eyzaguirre, que era Ministro de Hacienda, y también Andrés Velasco que continuó con esta política, con Alberto Arenas y también Felipe Larraín y Rosanna Costa; todos ellos hicieron modificaciones y mantuvieron la regla estructural. Una institución que nos aconseja, por ejemplo, que en tiempos en que el precio del cobre está alto, no nos gastemos todos los dólares; y eso hace que el tipo de cambio también esté protegido, nos favorezca

la exportación y además tengamos recursos para tiempos de crisis (Figura B2).

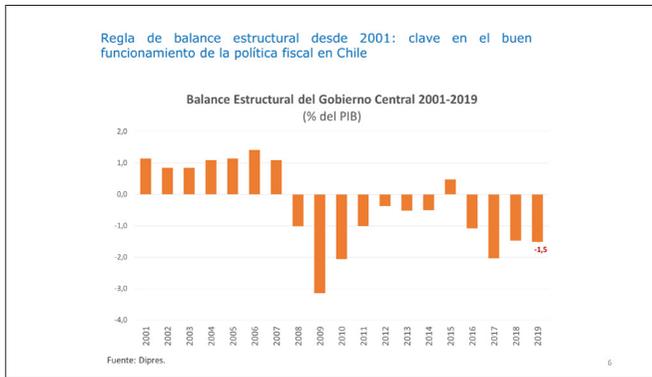


Figura B2

Esto partió el 2001, el Balance Estructural, que es el gasto versus ingreso. Y uno ve que en los primeros años de la Regla estuvimos acumulando del 2001 al 2006 con balance positivo. Significó que ahorramos, acumulamos recursos, porque efectivamente había boom de precios de commodities entre otras cosas, importación. Y claro uno dice “Si gracias a que teníamos un escenario con viento de cola”, “ya, pero podríamos habernos gastado todo”, como era en el pasado. No, ahí se ahorró.

Obviamente con una sucesiva serie de crisis como la global del 2008-2009, el terremoto y tsunami de febrero de 2010, efectivamente gastamos y nos recuperamos y luego también efectivamente ocupamos recursos, las barras para abajo significa que tuvimos un déficit estructural. Y, básicamente, no nos recuperamos hasta el 2014. El 2015 volvimos a hacer un ajuste y ahorrar, pero después vienen también otras crisis en el 2019 con el Estallido Social y ahora el COVID (Figura B3).

Pero ya el 2019 llevábamos 8 años de déficit de presupuesto y esto, efectivamente, se condice con un aumento de la deuda, pero es claro que esa acumulación que tuvimos los primeros años de uso de esta Regla, esa acumulación de recursos, nos permitió después enfrentar las crisis.

Y bueno, cuando ahorramos los ingresos estaban sobre los gastos, después era contra cíclico. Los gastos crecían cuando bajaban los ingresos, es decir había una crisis. Entonces efectivamente teníamos nuestros fondos para tiempos de crisis y los gastamos. Sin embargo, los últimos 8

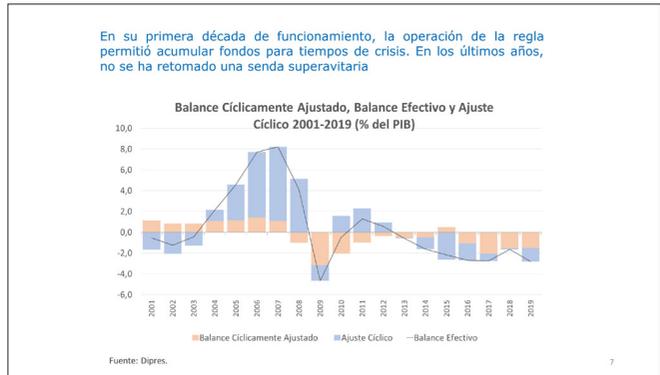


Figura B3

años no hemos respetado la Regla y hemos tenido déficits importantes.

Ahora, cuando uno ve en perspectiva los ingresos fiscales, efectivamente dependíamos mucho del cobre, pero esto ha tendido a disminuir en la última década y los ingresos están bastante estables (Figura B4).

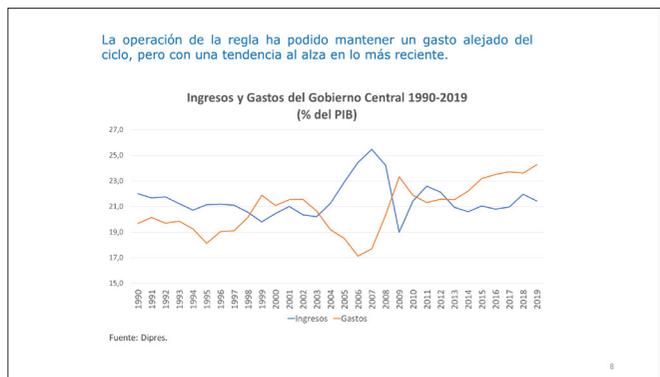


Figura B4

Sin embargo, el gasto público como porcentaje del PIB, en la última década tendió a tener un crecimiento, salvo el 2018 y que vemos que se mantuvo en el 2017.

Y, ¿en qué nos gastábamos la plata? Este es un gráfico muy decidor. Cuando uno ve la clasificación funcional, el gasto social ha crecido, consistentemente y ahí uno tiene en qué se lo ha gastado, está Salud, Educación, principalmente esos dos sectores. Y los sectores que han perdido han sido por ejemplo Defensa. Y esos son datos. O sea, el gasto social ha aumentado y ha sido beneficiado de esta política.

Y por último, aquí está la acumulación de activos que se guardan en el Fondo de Estabilización Económica y Social y en el Fondo de Reserva de Atención y uno ve que ya en el 2019 tenemos 25 mil millones de dólares gracias a esta política (Figuras B5 y B6).

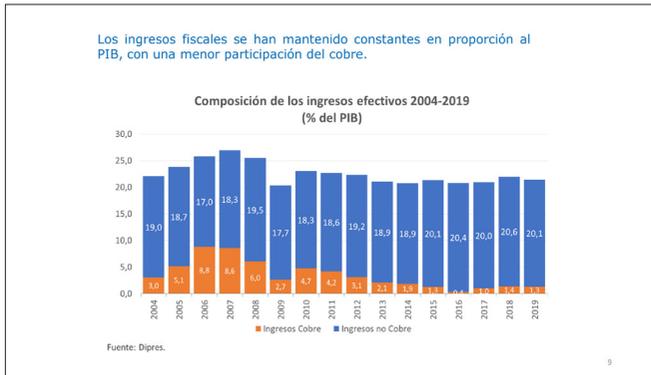


Figura B5

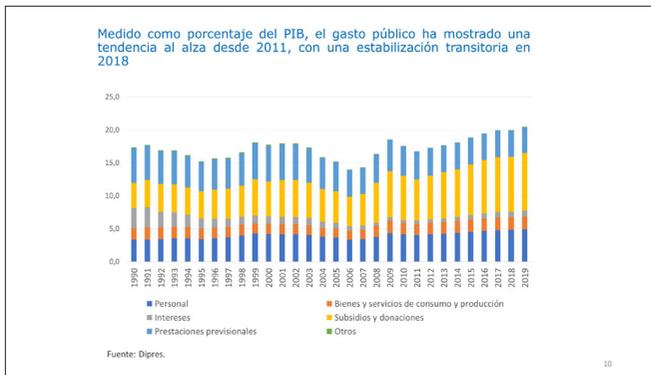


Figura B6

Sin embargo, hay que decir que en los últimos años el gasto ha aumentado continuamente de manera significativa y esto ha hecho que la deuda bruta como porcentaje del PIB, que yo la descompongo en externa e interna, ha crecido de manera no importante, pero con una pendiente preocupante. Más que el monto, que es todavía bajo, efectivamente ir duplicando cada 4 o cada 5 años el gasto, nos puede llevar a situaciones peligrosas (Figuras B7 a B10).

Y eso tiene que ver con el pago de intereses. Como país, en este año vamos a pagar 2.500 millones de dólares en intereses, se podrían haber gastado en otras cosas, pero además a futuro podemos ir duplicando ese pago de intereses, lo vamos a ver.

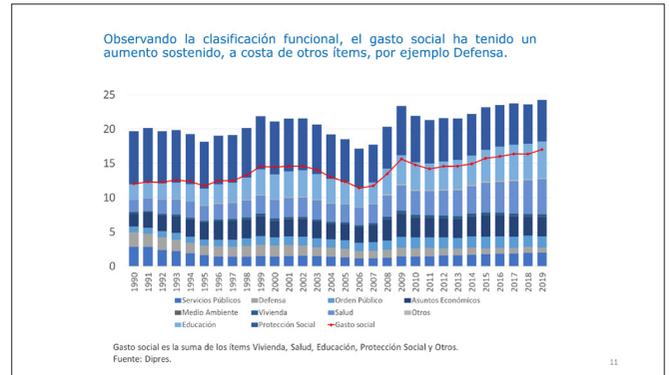


Figura B7

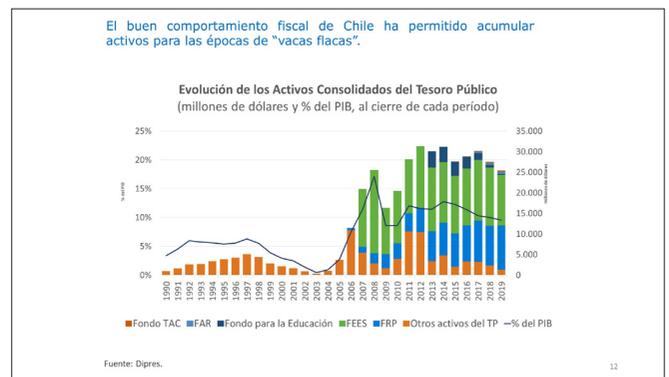


Figura B8

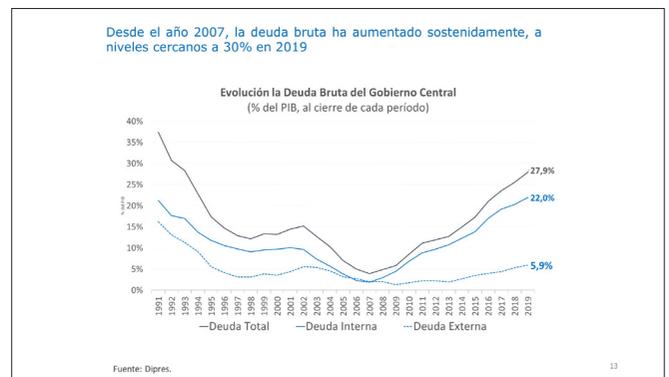


Figura B9

Ese era el escenario antes de la pandemia, veíamos que iba creciendo el gasto, pero decíamos, no es preocupante.

La pregunta ahora es ¿qué va a pasar después de que estos ingresos, que cayeron un 10% como crecimiento real anual el 2020? Ahí proyectamos que como país vamos a rebotar fuerte el 2021 porque, imagínense caen un 10%

Uno de los beneficios de mantener una deuda pública acotada es que tener un menor gasto en intereses, liberando recursos para otros compromisos. La tendencia reciente de este ítem es creciente.

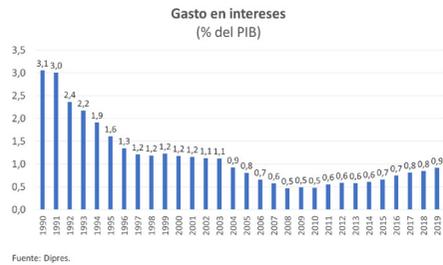


Figura B10

Crecimiento del Gasto del Gobierno Central Total 1991-2021e (var. real anual)

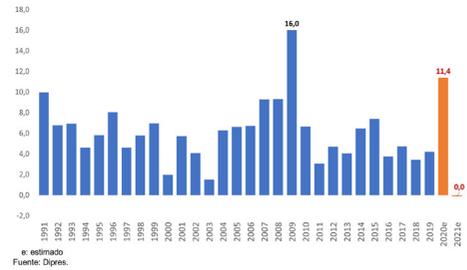


Figura B12

Ingresos Efectivos del Gobierno Central (variación real anual)

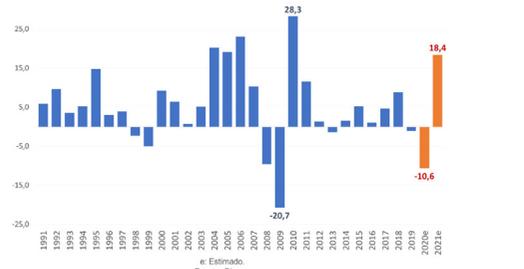


Figura B11

Balance Efectivo del Gobierno Central Total 1991-2021e (% del PIB)

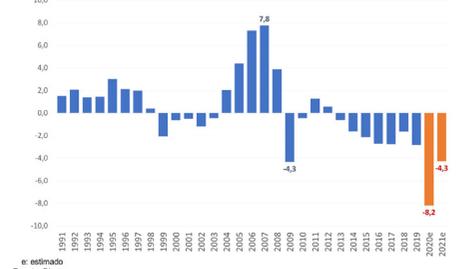


Figura B13

los ingresos efectivos del Gobierno central y el gasto crece un 11,4% el 2020 (Figura B11).

¡Ojo!, que efectivamente es necesario invertir en esta pandemia, y yo no digo nada sobre eso. O sea, a pesar de todo lo que se está invirtiendo el Fisco, según el Banco Mundial, va a tener 800 mil nuevos pobres en Chile con la pandemia, vale decir, esto no es un juego y yo no cuestiono el nivel del gasto; creo que hay espacios para gastar, incluso más, dependiendo de si hay un rebrote (Figura B12).

Pero el hecho es que el balance efectivo va a caer en -8,2% del PIB el 2020. Solamente para que ustedes tengan una idea, eso significa que el 2020 vamos a gastar 23 mil millones de dólares más que los ingresos que recibimos, eso es deuda.

En el Balance Estructural también nos vamos a un histórico de menos -4,7% del PIB. Nunca, desde que empezó la Regla Balance Estructural, habíamos tenido ese nivel de déficit (Figura B13).

Y la deuda salta básicamente desde el escenario en que estábamos cerca del 24% a un 36,4% del PIB.

Si uno ve la evolución, entre el 2019 y el 2021, vamos a gastarnos 11 mil millones de dólares de nuestros activos, de nuestros fondos que teníamos y vamos a adquirir 20 mil millones de dólares de deuda. O sea, vamos a estar 30 mil millones de dólares más pobres como país; ese es uno de los efectos de la pandemia (Figura B14).

El escenario Post Pandemia.

Aquí lo voy a resumir: en este escenario post pandemia ojalá llegemos después del 2025 a no más de un 40 y tantos% de deuda bruta como porcentaje del PIB.

Sin embargo, aquí hay dos escenarios, si nosotros dejamos que la inercia del gasto público continúe nosotros, que hemos estado en el sector público, sabemos que hay mucha inercia; una vez que se define el presupuesto del

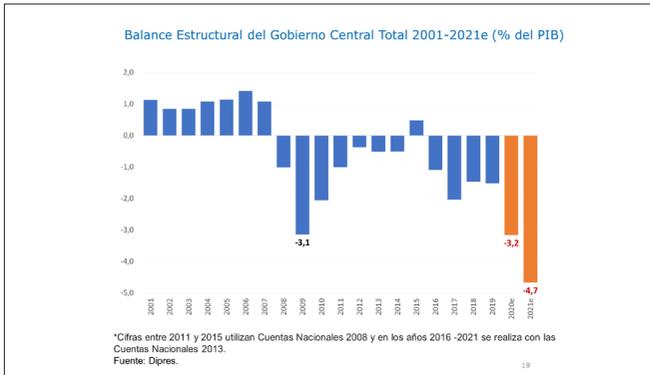


Figura B14

Deuda Bruta del Gobierno Central, cierre estimado 2021 (millones de pesos 2021)

	2021p
Deuda Bruta saldo ejercicio anterior	67.450.675
Déficit Fiscal GC Presupuestario	9.083.422
Transacciones en activos financieros	119.181
Deuda Bruta saldo final	76.653.277
% PIB	36,4

Fuente: Dicipres.

Figura B15

próximo año, esa es la base del presupuesto del siguiente año, si seguimos con esa inercia y con este crecimiento, podemos llegar a 70% de deuda como porcentaje del PIB el 2030 y, básicamente, eso es lo que tenía Argentina el 2018. Estamos hablando de que entonces vamos a gastar probablemente en exceso 6 mil millones de dólares en intereses al servicio de la deuda (Figura B15).

Por otra parte, si mantenemos la convergencia que ha definido el Gobierno, lo que han definido los expertos que asesoraron al Ministro Briones, que fue un Panel transversal, podríamos llegar a 45% de deuda como porcentaje del PIB, que es muy manejable. Es un nivel de deuda que nos permitiría seguir con tasas de interés baja para la economía; en general nos permitiría endeudarnos de manera barata.

Pero existe el otro escenario: para llegar a ese del 70% no tenemos que hacer nada, tenemos que seguir en lo que estamos. En cambio, para llegar a ese escenario de 45%, el balance efectivo debiera ser positivo y el balance estructural también del 2025 al 2030.

Sin embargo, lo que hemos hecho el 2019-2024 es un déficit efectivo de -4,4 y un balance estructural de -2,8 en promedio. O sea, tendríamos que gastar mucho menos.

La pregunta que uno se hace ¿es eso factible dados los escenarios que vamos a tener de nueva Constitución, del nuevo Estado de Derecho?, esto que yo les planteo aquí es el desde, sin incluir los nuevos derechos que pudiere especificar la Constitución.

Entonces yo aquí me pregunto dos cosas importantes.

La primera es, ¿vamos a seguir con la Regla Fiscal? Ya con 8 años seguidos que no cumplimos con las metas de Balance Estructural, la preguntas es ¿tiene algún sentido seguir trabajando con la Regla Fiscal? (Figuras B16 a B18).

Comparación de la evolución estimada de la Activos del Tesoro Público y Deuda Bruta 2019 y 2021 (millones de dólares y % del PIB*)

Año	2019		2021		Diferencias	
Fecha proyección	Proyección IFP III T 2019	Proyección IFP III T 2020	Proyección IFP III T 2020	Proyección IFP III T 2021	MMUS\$	% PIB
Activos Tesoro Público	26.500	9,0	15.339	5,6	-11.161	
Deuda Bruta	79.645	27,2	100.070	36,4	20.424	
Posición Financiera Neta	-53.145	-18,2	-84.731	-30,8	-31.585	

* Supuestos de Tipo de cambio y PIB proyectados en cada Informe.
Fuente: Dicipres.

Figura B16

Deuda bruta del Gobierno Central Total 2022-2025 (millones de pesos de 2021)

	2022	2023	2024	2025
Deuda Bruta saldo ejercicio anterior	76.653.277	87.217.529	96.846.590	102.707.560
Déficit Fiscal Gobierno Central Total	9.145.967	5.946.226	1.875.542	-427.911
Transacciones en activos financieros	1.418.285	3.682.835	3.985.429	2.082.076
Deuda Bruta saldo final	87.217.529	96.846.590	102.707.560	104.361.725
% PIB	40,0	43,2	44,6	44,1

Fuente: Dicipres.

Figura B17

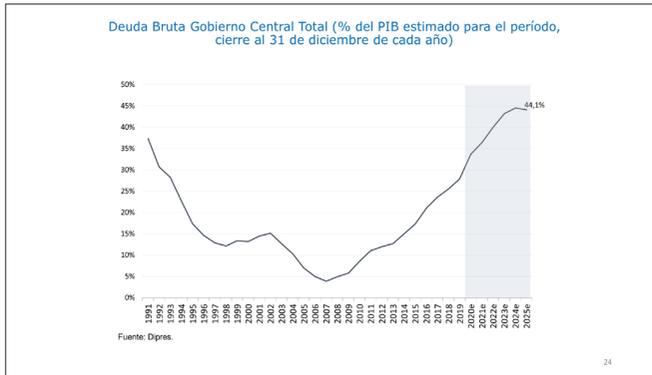


Figura B18

Bueno, aquí el profesor Patricio Meller es el experto en economía histórica en el país y nos puede confirmar si, antes del retorno a la democracia, efectivamente caíamos en niveles de deuda grandes, un Estado que no tenía recursos y efectivamente caíamos en temas de inflación y otras variables que dañaban el potencial de crecimiento del país y de exportaciones, etcétera.

Entonces yo digo que la Constitución parta de una hoja en blanco no significa que no aprendamos de la historia económica (Figuras B19 y B20).

Bueno una institución que es importante y que yo pienso que es bueno plantearlo y que es como una duda que tengo yo. Es básicamente ¿Qué pasa con la disposición de que es el Presidente de la República quien tiene la iniciativa exclusiva de los proyectos de ley que tengan relación con administración financiera o presupuestaria del Estado? O sea, una norma que establece una restricción a la iniciativa parlamentaria en materia de gasto fiscal. O sea, el Congreso Nacional no puede generar iniciativas que tengan gasto fiscal.

Ahora, uno puede decir “oye, es una institución de la dictadura” y la verdad que, si uno revisa la historia económica de Chile, la historia constitucional, se ve que en 1833 la Constitución ya le quitaba ciertos poderes al parlamento. “La potestad de decidir sobre declarar guerra es exclusiva del Ejecutivo”. Y en 1925 ya existe una iniciativa que, para el aumento de los gastos variables, para alterar el cálculo de entradas, el Presidente es el único que puede hacerlo y también un suplemento de partidas o ítem de la Ley General de Presupuesto, esto ya estaba en la Constitución del 25. En 1943 bajo el Gobierno de Juan Antonio Ríos se hizo ya una reforma que es muy parecida a la que

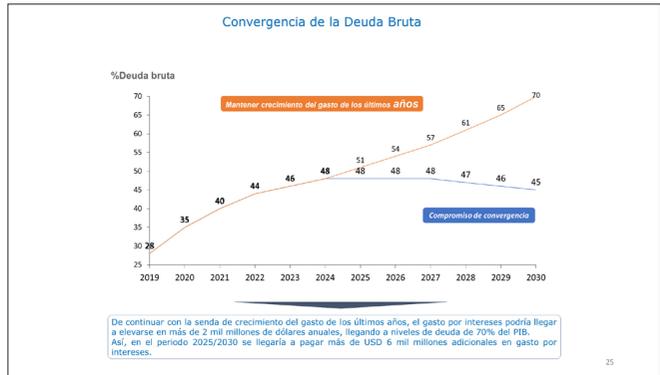


Figura B19

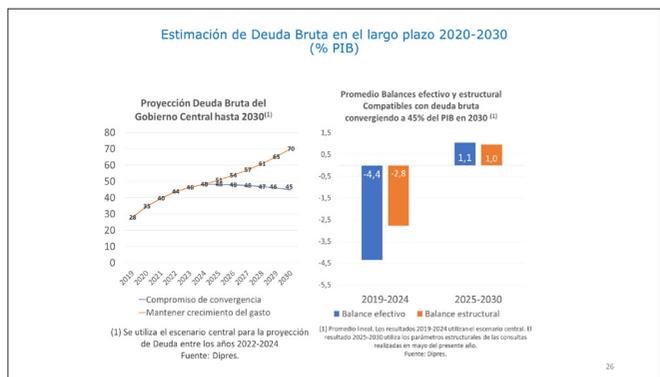


Figura B20

tenemos ahora que incluye, entre otras cosas, restricción de iniciativa parlamentaria en materia de gasto público; esto es muy parecido a lo que tenemos ahora.

Incluso en la reforma de la Constitución de 1970 también se destacó nuevamente la iniciativa y se amplió la iniciativa presidencial legislativa en materia fiscal.

¿Cuál es la racionalidad de esto? Es que hay un conflicto de agencia. Porque si los que manejan la administración del Gobierno, la administración presupuestaria es el Gobierno, pero los que tienen la iniciativa de gasto, las iniciativas que generan gasto fiscal son los parlamentarios, efectivamente, no son dolientes, ellos generan gasto y después el que tiene que arreglar el problema es el Gobierno. Es un conflicto clásico de agencia. Esto también lo destaca la teoría que mencionaba Larraín de Public Choice. Básicamente lo que aquí tenemos es que los parlamentarios, que tienen incentivos de bien de corto plazo: salir electos, beneficiar a sus electores y determinados grupos de interés, pueden generar iniciativas que endeuden a Chile y sus generaciones

presentes y futuras, y no es el acreedor residual de lo que está haciendo; es el Gobierno el que tiene que encontrar cómo resolver el problema. Es un tema preocupante.

El otro tema preocupante sería que, la iniciativa fuera parlamentaria. Los parlamentarios tienen una mirada para su distrito, se especializan en ello; al contrario del que tiene la mirada global que es quien maneja la Administración del Estado y tiene que mirar por todas las regiones del país y ese es el Ejecutivo.

Y, por último, los parlamentarios no cuentan con la capacidad técnica que, por ejemplo, tiene la DIPRES, del Ministerio de Hacienda, que tiene que evaluar cuál es el costo de la iniciativa, evaluar cuál es el impacto en la economía y el Ejecutivo sí la tiene.

Entonces un primer tema que surge es sobre el rol que va a tener en la nueva Constitución la sustentabilidad fiscal, respecto de la iniciativa exclusiva del Ejecutivo en proyectos que generen gasto fiscal (Figura B21).

COMPROMISO DE CONVERGENCIA

- La política de **responsabilidad fiscal** ha sido una política de Estado, promovida transversalmente por los distintos sectores. Sólo aseguraremos nuestra responsabilidad fiscal si hacemos un esfuerzo significativo en el mediano plazo de retomar una senda sostenible.
- De no respetar el camino trazado de **convergencia**, las estimaciones muestran que la deuda pública podría llegar, en plazos muy acotados, a niveles que afectarían negativamente el crecimiento, a las familias, a las empresas y postergarían políticas públicas de gasto social para avanzar en las prioridades ciudadanas.
- La regla de oro de toda autoridad responsable de las finanzas públicas es asegurar el **financiamiento de los programas sociales actuales y futuros** con ingresos permanentes. - La responsabilidad fiscal y social, no compiten, van de la mano.

27

Figura B21

Y la otra duda que tengo yo es que, si ya tenemos una regla que no se ha cumplido en 8 años, y probablemente en los próximos 5 tampoco se cumpla, tenemos que repensar la Regla y aquí yo digo, que tiene que haber una nueva Regla Fiscal para Chile. Y probablemente como la deuda bruta en porcentaje del PIB es el indicador ancla para evaluar la sustentabilidad fiscal de un país, como dice el Fondo Monetario Internacional, va a ser importante qué en Chile, de nuevo, después de muchas décadas en que no lo era, vamos a tener que hacer algún tipo de regla que considere no solamente el Balance Estructural, sino que también el déficit efectivo y la deuda bruta (Figuras B22 a B24).

NUEVA CONSTITUCIÓN Y SOSTENIBILIDAD FISCAL

- Que la nueva Constitución parta de una hoja en blanco no significa que no debamos considerar lo aprendido a través de nuestra historia y respetar instituciones que son propias de la República, en particular en lo que se refiere a la administración del Estado y de los recursos fiscales.
- Una de estas instituciones es la norma que señala que las leyes pueden tener origen en la Cámara de Diputados o en el Senado, por mensaje que dirija el Presidente o por moción de cualquiera de sus miembros, pero que corresponderá al Presidente la iniciativa exclusiva de los proyectos de ley que tengan relación con la administración financiera o presupuestaria del Estado, incluyendo las modificaciones de la Ley de Presupuestos (Artículo 65). **En otras palabras, esta norma plantea una restricción a la iniciativa parlamentaria en materia de gasto público.**
- De hecho, el Congreso Nacional sólo puede aceptar, disminuir o rechazar los servicios, empleos, emolumentos, préstamos, beneficios, gastos y demás iniciativas sobre la materia que proponga el Presidente.

29

Figura B22

NUEVA CONSTITUCIÓN Y SOSTENIBILIDAD FISCAL

- La iniciativa exclusiva del Presidente tiene larga data y está enraizada en nuestra historia constitucional.
- Ya en **1833** la Constitución ponía límites al poder de los parlamentarios, otorgando la potestad de decidir sobre si declarar o no una guerra como resorte exclusivo del Ejecutivo.
- La carta fundamental de **1925** establecía que la iniciativa para el aumento de los gastos variables o para alterar el cálculo de entradas correspondía exclusivamente al Presidente y que “los suplementos a partidas o ítem de la Ley General de Presupuestos solo podrán proponerse por el Presidente de la República”.
- En **1943**, bajo el gobierno de Juan Antonio Ríos, la Constitución de 1925 fue reformada, incluyéndose, entre otras cosas, una restricción a la iniciativa parlamentaria en materia de gastos públicos, la cual es muy similar a la que nos rige actualmente.
- Esta normativa fue perfeccionada también en la reforma constitucional de **1970**, la cual amplió el campo de la iniciativa presidencial legislativa.

30

Figura B23

UNA NUEVA REGLA FISCAL PARA CHILE

- **Un modelo para seguir podría ser el freno a la deuda (Debt Break) suizo.**
- En 2001, los suizos aprobaron el denominado freno a la deuda pública, el cual está codificado en el artículo 126 de la Constitución.
- Esta regla entró en vigor en 2003 y como resultado se logró que la relación deuda/PIB baje del 53% en 2005 al 37,3% en el año 2020.

34

Figura B24

Y aquí yo propongo, y no voy a dar mucho detalle, que un Modelo podría ser el Debt Break, suizo. El modelo de un freno a la deuda, que está en la Constitución suiza; es el Artículo 126 de esa Constitución y dice que si un Gobierno rompe la regla de Balance Estructural que ellos se definen, está obligado por mandato de la Constitución a pagar lo que gastó en exceso en el siguiente año. No importa quién sea

el Gobierno y es un compromiso que se hace automático. Un Gobierno no puede ir en contra de la Constitución y decir: “sabe no lo voy a pagar”; si puede pasarse, como lo que sería ahora una cláusula de escape, pero después en algún momento, tiene que pagarlo, yo creo que ese es un mecanismo que deberíamos ver.

Deberíamos también ver iniciativa parlamentaria y cómo se hace en otros países, que puedan ellos reasignar, que tenga impacto fiscal, pero que sea impacto cero. Decir “sabe que yo prefiero en vez de esto un 1% del PIB que estamos gastando adicionales, lo podamos gastar en salud.” Y en eso yo creo que podemos avanzar (Figuras B25 y B26).

NUEVA CONSTITUCIÓN Y SOSTENIBILIDAD FISCAL

- Uno de los problemas que surge de la iniciativa parlamentaria en materia de gasto público es que genera un **conflicto de agencia**, donde por un lado los parlamentarios tienen la posibilidad de proponer iniciativas que potencialmente generen un gasto fiscal, el cual puede afectar a generaciones presentes y futuras de chilenos, pero por otro lado no están a cargo de lidiar con las soluciones a los problemas que sus iniciativas generan en términos de presiones de gasto.
- Es decir, **no son dolientes** de los problemas que sus iniciativas generan a futuro al país.
- Esta disociación entre los intereses de los parlamentarios, llámese generar iniciativas populares que beneficien a sus electores y favorecen a determinados grupos de interés, y los intereses del ejecutivo que tiene que velar por la responsabilidad de la administración del Estado y de los recursos fiscales es la que genera un problema de agencia.

31

Figura B25

NUEVA CONSTITUCIÓN Y SOSTENIBILIDAD FISCAL

- Adicionalmente el Ejecutivo cuenta con una **mirada global** que involucra a todas las áreas de administración del Estado y a todas las regiones del país, a diferencia de los parlamentarios que tienden a enfocarse en problemáticas específicas y sobre todo en sus distritos.
- Por último, el Ejecutivo cuenta con **equipos técnicos** capaces de evaluar los impactos de políticas públicas y los gastos fiscales que involucran, así como también su impacto agregado en la sustentabilidad fiscal del país. Eliminar esta institucionalidad abre la puerta a que en el futuro caigamos presa de las presiones electorales de corto plazo e hipotequemos la sustentabilidad fiscal que ha sido clave en el desarrollo del país en las últimas décadas.

32

Figura B26

El sentido de mi presentación era mostrarles este escenario de éxito por un lado que ha tenido Chile desde el retorno a la democracia y un escenario también de incertidumbre, sobre lo que va a pasar con esta institucionalidad que a veces no es tan reconocida. Larraín decía” ya resolvimos

el tema macro”, yo no creo que esté resuelto lo que viene. Si no tenemos esta Regla por lo menos nos pueda inhibir de gastar más de lo que tenemos por un periodo de tiempo largo, efectivamente después vamos a pagar los costos de la deuda. Solamente, para muestra un botón. Cuando vuelve Mauricio Macri al Gobierno argentino pide 1000 millones de dólares al Fondo Monetario y se los dan y básicamente de los 10 mil millones de dólares 4 mil son solo para pagar deuda (Figura B27).

UNA NUEVA REGLA FISCAL PARA CHILE

- Lamentablemente se ve lejana una consolidación fiscal que incluya un aseguramiento de convergencia de los déficits efectivos y una estabilización creíble de los niveles de endeudamiento.
- El BE es solo uno de varios indicadores que deben ser considerados al momento de evaluar la situación fiscal.
- Otros indicadores relevantes son el déficit efectivo y la deuda bruta.
- En particular, la deuda bruta como porcentaje del PIB, como recomienda el FMI, puede ser usada como un stock ancla para evaluar la sustentabilidad fiscal de mediano plazo del país.
- De aquí resulta claro es que se requerirá una nueva regla fiscal, que vaya más allá del balance estructural, y que incluya también como indicador la deuda bruta, que tal como lo señala el FMI constituye el stock ancla para evaluar la sustentabilidad fiscal de mediano plazo de un país.

33

Figura B27

Pero uno acá dice: “no, estamos lejos de eso” y la verdad es que no tanto, esto de la deuda bruta, es como un tobogán, de todo lo que se gaste, los intereses después pasan al próximo año como deuda. En Chile en el 2013 teníamos 13% de deuda como porcentaje del PIB y salimos el 2017-2018 con el doble, casi 24, y si seguimos esa tendencia, es peligroso.

Entonces mi pregunta es ¿Qué vamos a hacer a futuro? ¿Qué vamos a hacer con la Constitución? ¿Cómo nos vamos a asegurar que, de este Estado más cercano, pasemos a un Estado de bienestar que va a estar en la Constitución, pero haciéndonos cargo de que no nos lleve a un escenario fiscal no apropiado?

Muchas gracias.

Al término de las presentaciones el Sr. Ascanio Cavallo columnista político, panelista, ex director de la Revista HOY y el Diario La Época, hizo algunos comentarios y las preguntas a los panelistas.

Sr. Ascanio Cavallo.

—*Patricio Meller, nos ha hecho una descripción muy elocuente de las estrategias de desarrollo que hemos seguido en los últimos cientos y tantos años, pero en las estrategias de desarrollo y no tanto en quienes las han llevado a cabo. ¿Cómo se movió el Estado en esos periodos? ¿En qué momento el Estado fue más grande? Porque la percepción que yo creo que tenemos todos, es que el Estado es un obeso con tendencia a engordar permanentemente. No hay ninguna reforma reciente que yo conozca que no haya hecho crecer en número a los funcionarios, incluso en el Parlamento o en el Ejecutivo.*

Entonces, la pregunta es si tú no ves ninguna relación entre la estrategia de desarrollo y el volumen del Estado? Porque el volumen del Estado en la época de la Unidad Popular claro fue muy grande, pero estamos hablando de un Estado cuyo producto era bastante bajo, no es el mismo de hoy día y probablemente el Estado hoy día es más chico que el de entonces.

En fin ¿Tú no ves una relación entre ambas cosas?

Sr. Patricio Meller.

—Hay ciertas hipótesis que se plantean que la tasa de crecimiento de un país depende del tamaño del Estado. Y hubo una época en que muchas regresiones se corrieron tratando de mostrar que los países con Estados más grandes crecían menos que los países con Estados más chicos crecían más y era algo que apuntaba a culpar al tamaño del Estado como factor determinante de la tasa de crecimiento.

Pero la verdad es que, en mi presentación, yo enfatizo lo que llamaste estrategia de desarrollo. Para ponerlo más directamente, creo que lo que importa del Estado es el tipo de políticas que aplica. O sea, qué políticas y qué reformas estructurales sobre funcionamiento de la economía es lo que guía su acción. Y por eso traté de hacer ver que el contraste que hay entre los dos modelos polares, tienen una concepción no tan preocupada de cuán grande va a ser el Estado. Obviamente, si el Estado lo controla todo, llegamos al Estado Soviético en que debe tener un Comité Central de Planificación a nivel nacional, en la cual está diciendo con la matriz de Insumo-Producto y lo que se va a producir y todo lo que se va a hacer.

Lo que creo, es que hay ciertas cuestiones que, independientemente del tamaño del Estado, inciden de manera fuerte en la economía de un país. Cuando yo digo economías cerradas me refiero a muy protegidas de la competencia externa o economías muy abiertas a la globalización.

Yo creo que hay algo central en lo que se hizo en la vuelta a la democracia: no fue un criterio económico el que guió la idea de que Chile se integrara a la economía global, sino que fue el hecho de salir de una dictadura en que se está aislado políticamente, en que el equipo político desde el Presidente para abajo deciden que “Chile se integra al mundo y tiene que salir del factor aislacionista en el cual estábamos”. Y coincide particularmente con la caída del muro de Berlín el 89, la desintegración de la Unión Soviética del 90 al 92, en la cual el proceso de globalización se acelera y Chile se integra al mundo que quiere a Chile, porque antes del 90 no quería a Pinochet, entonces de alguna forma esto hace que Chile se sume una ola creciente de los 90 en adelante, en la cual se beneficia en primera instancia a la estrategia política que afecta a la estrategia económica. Y no tiene que ver con el tamaño del Estado, sino que es la estrategia política de tratar de hacer convenios y que luego se traducen en los TLCs, los Tratados de Libre Comercio, con todos los países que quisieron firmar un convenio con Chile. Y esa estrategia sucede justo cuando el mundo se globaliza, se expanden las exportaciones y sucede efectivamente lo que antes también quería el 85 en adelante, bajo el Gobierno Militar y particularmente el Ministro Büchi, de empujar, transformar las exportaciones en motor de crecimiento del país. Esto agarra la ola creciente de crecimiento de las exportaciones con ola creciente de inversión extranjera directa en el momento preciso y esto no tiene nada que ver con el tamaño del Estado.

O sea, para refutar lo que tú me estás diciendo, el mismo Estado en 1990 crece distinto a través de toda la década del 90 y que llega a un Estado no mucho más grande en el año 2000. Y la tasa de crecimiento se acelera por la estrategia, llamémoslo de apertura y de poner a las exportaciones en el centro como motor de crecimiento, en que no es el tamaño del Estado lo que incide. O sea, insisto, las estrategias de desarrollo son las políticas que se aplican, en que, apertura – no apertura y atracción de inversión extranjera son los componentes centrales.

Sr. Ascanio Cavallo.

—Una pregunta de uno de los asistentes. Tú has sido siempre un defensor del uso de los recursos naturales, eres uno de los contrarios a las acusaciones de extractivismo de la producción chilena y tiene ver con la minería y con la necesidad, aparentemente ya imperiosa, de que la minería varíe sus métodos de producción hacia una minería verde o como la llaman algunos climática. Una presión muy fuerte en un sector donde el Estado nuevamente tiene una presencia muy importante y bastante rectora.

¿Cuál es tu opinión sobre cómo podemos encaminarnos hacia esa minería climática?

Sr. Patricio Meller.

—Voy a ir un poco más para atrás con la pregunta que tú haces de los recursos naturales. Hoy día no importa tanto lo que se produce, importa mucho cómo se produce. Y este, cómo se produce requiere en el mundo global siglo XXI, yo diría la primera cuestión, el uso de la tecnología moderna, y dentro de lo que estamos hoy día, subirse a la revolución tecnológica 4.0.

En 1990, cuando se inventa la internet, los países que no la introdujeron o las empresas que no implantaron la internet en su quehacer productivo, ¿existe hoy día alguna que sea competitiva? Entonces lo mismo está pasando con la revolución tecnológica 4.0. Hoy día para exportar lo que sea, necesitas meter la tecnología 4.0, que implica digitalizar, inteligencia artificial, automatizar, robotizar, etc. Ahora, dentro de esto está ¿cuán prioritario va a ser a futuro este tema climático? Vale decir, ¿cuánto va importar lo verde? en la pregunta que tú estás haciendo. Y aquí yo creo que esto tiene que ver con las preferencias de los consumidores.

Ejemplo. Si todos los autos a futuro van a ser autos eléctricos, por el calentamiento global, y dejar de usar petróleo como energía, entonces eso implica que, para producir estos autos eléctricos, los insumos no pueden ser no verdes, tienen que ser verdes. Y si son verdes, toda la cablería que van a usar los autos eléctricos, va a necesitar cuatro veces más cobre que lo que usan los autos no eléctricos. Pero, ¿qué cobre van a usar? Tienen que ser necesariamente cobre verde, porque si no sería una contradicción, una inconsistencia. Así, todos los insumos que vas a utilizar

tienen que cumplir con esa regla. Entonces lo que se intuye que va a pasar en el mercado es que va a haber un menú de precios distintos de cobre. Va a haber cobre verde a 4 dólares la libra, cobre medio verde a 3 dólares la libra y cobre no verde a 2 dólares la libra o a lo mejor a 1 dólar la libra. Y las Compañías van a tener que decidir. Y obviamente producir cobre verde va a ser más caro que producir cobre no verde, pero va a haber un diferencial del precio al cual las Compañías van a tener que acomodarse.

El problema que yo veo es del rol del Estado, en ¿cómo el Estado participa en esto de ayudar en esta transformación energética a las Compañías? Ahora bien, hay Compañías que tienen los recursos para hacerlo. Pero estoy pensando en la PyME, la minera que de repente estuvo exportando 3 mil millones de dólares, o sea más que lo que exportamos en vino, la PyME minera lo que estaba exportando en un momento dado ¿cómo le ayudas a que entre a producir este menú llamémoslo cobre verde? Y aquí el rol del Estado es que va a tener que definir a quien ayuda, a quien no ayuda, y cómo lo ayuda.

En este sentido, yo te diría es que si hay un sector, en que si realmente hay un líder en la incorporación de tecnología moderna en Chile es la minería, y la minería anticipa con sus proyectos a largo plazo, cómo va a ser el mercado futuro y yo creo que en la Gran Minería que tenemos nosotros, las grandes empresas mineras ya están anticipando y pensando en ello y están planteando que quieren una minería sustentable en el futuro y para ser sustentable en el futuro va a tener que ser amistosa con el medio ambiente; no lo ha sido hasta ahora y también va tener que ser amistosa con las comunidades que están en el entorno del yacimiento, o sea, ésta es la licencia social para operar. La sustentabilidad futura de la minería es, no solo ser competitiva y más productiva, sino sustentable social y medioambientalmente.

Sr. Ascanio Cavallo.

—Gracias Patricio, un buen punto es el que señalas y creo que es poco conocido entre los chilenos el nivel de tecnología y de vanguardia que tienen las empresas mineras en Chile en materia de producción.

Guillermo, creo que hiciste una descripción muy inquietante respecto del Estado y de la forma que ha evolucionado en los últimos 30 años y que se junta con algo que yo he estado

escuchando de amigos connotados en los últimos días, que sostienen incluso que el problema que nos condujo a la revuelta social del año 2019, en realidad no es la Constitución, sino que es el Estado, que ha provisto de bienes sociales muy deficientemente y muy desiguales y que no ha cumplido con la promesa de equidad que se ha hecho a los chilenos por todos los Gobiernos. Y que se traduce en algo como lo que tú describiste que es, bolsones de alta eficiencia, más grandes campos de alta ineficiencia y de muy mala atención y muy mala orientación a los ciudadanos y tercero este factor nuevo, o relativamente nuevo, que es la alternancia en el poder que hace pensar que en realidad los políticos chilenos no creen en una burocracia profesional y por lo tanto no la vamos a tener, a menos que cambie la clase política completa ¿Qué piensas tú respecto de este papel del Estado en la crisis? ¿Quizá es una exageración? O ¿te parece una descripción adecuada?

Sr. Guillermo Larraín.

—No, tal como está planteado no me parece. Porque yo no creo que la gente se haya volcado contra el Registro Civil o que se haya volcado contra el portero de tal servicio. Cuando estamos hablando de servicios provistos por el Estado, se debe tener presente que solo puede hacer aquello que está autorizado por ley; por lo tanto, el problema es cómo se definen las políticas públicas, más que la forma de cómo se implementan posteriormente por el funcionario público.

Evidentemente que hay ineficiencia, de eso no hay ni la menor duda, pero yo creo que el problema en el fondo tiene que ver con ¿cómo estamos haciendo las Leyes? Y eso creo que es un problema constitucional.

Y podría darles muchos ejemplos, algunos bastante obvios y otros no tanto. Por ejemplo, la Ley de Contrato de Seguros que se ingresó al Congreso el año 90 me tocó a mí aprobarla el año 2010, cuando me estaba yendo de la Superintendencia; tomó 20 años la tramitación, eso no puede ser.

La Ley de Cooperativas, la última vez que salió reformada fue el año 76 y básicamente para tratar de aniquilar el movimiento cooperativo dentro de la lógica de la dictadura. Se vino a reformar cuarenta y tantos años después.

Fíjense lo que está pasando en pensiones. El Presidente Piñera propuso el incremento de la cotización el año 2013,

estamos terminando el 2020, y ni siquiera empezamos la transición, o sea, si es que se aprobara esta Ley mañana, con los 10 años de transición que va a establecer, ustedes que son ingenieros saquen la cuenta cuánto rezago habrá hasta que empiece estar en plena vigencia.

El copago, en el sector salud en Chile es, sino el más alto de los países de la OECD, es segundo o tercero más alto, después de Estados Unidos como porcentaje del producto. Y eso en comparación con los países desarrollados es mucho menor, salvo Estados Unidos. Bueno ¿dónde está el esfuerzo que está haciendo el Estado, no digo presupuestario, sino que de una reestructuración de este sector? ¿Cuántos años venimos discutiendo de que hay que avanzar hacia un Plan Único de Salud en el FONASA y que arriba de eso se instalen las ISAPRES etc., etc. Son varios años, no sé cuántos, porque no es mi área, pero son muchos.

Entonces creo que tenemos el problema de que la gente esta hastiada de que los servicios que recibe son malos, pero no por culpa de los Ministerios, sino por culpa de un sistema político que no es capaz de resolver adecuadamente sus diferencias y me parece que ese es el fondo de todo el problema.

Sr. Ascanio Cavallo.

—Así es, porque iba a decir, en contraste con eso, hay una Ley que salió en tiempo récord.

Sr. Guillermo Larraín.

—Ah sí, las reformas constitucionales, salieron el tiempo récord. Claro la necesidad tiene cara de hereje.

A mí me parece que el problema está ahí, tenemos un conflicto político. Yo creo que el proceso constituyente, si se produce el involucramiento de todos, existiría alguna posibilidad de que se resuelva. ¿Por qué? Porque en la práctica, creo que parte del problema es la alternancia y tiene que ver con que los Gobiernos no confían en los funcionarios que siguen en sus cargos. En parte porque en realidad ha habido acá y crecientemente en forma divergente proyectos políticos distintos. Entonces cada uno, cada proyecto no quiere dejarle la suerte de la gestión de su parte a la oposición cuando esa oposición gana y sube al poder. Entonces yo creo que una gracia de la Convención

Constitucional es que permitiría explicitar esas diferencias y tratar de converger a una cosa que más o menos nos deje tranquilos. Yo no digo que eso vaya a resolver el problema, pero al menos sí creo que plantea una potencialidad que debiéramos tomar; seríamos tontos de no tomarlo, sí que está ahí dada de esta forma.

Sr. Ascanio Cavallo.

—A propósito de estas discusiones, yo también creo que el problema del Estado va a ser central en la discusión constitucional. A propósito de eso también he oído planteamientos de que, entre los derechos sociales, de que tanto se ha hablado en los últimos días, ¿podría existir un derecho a la buena administración pública? Que no sé cómo se ejerce, pero es una idea.

Sr. Guillermo Larraín.

—Exactamente, ese iba a ser mi contraejemplo. Yo creo que hay que tener cuidado con creer que la Constitución va a resolver los problemas. Creo que es esencial el cambio constitucional, hace años que he venido trabajando en él; me parece que está bien, pero no va a resolver todos los problemas. El libro que les mostré es sobre el Contrato Social, tiene una cosa que es bien interesante, que a los economistas no les cabe mucho dentro de su cabeza, pero es así. No es cierto que hay una suerte de convivencia entre instituciones formales, que son las que habitualmente vemos en economía, con instituciones informales. Y dentro de las informales, que los economistas siempre pensamos en que esas instituciones informales están guiadas por básicamente instintos económicos, o cálculo costo-beneficio, si ustedes quieren; pero hay también otras cosas. Y esas otras cosas, formas de interrelación entre las personas, desde cosas muy sociológicas como clasismo o machismo, son mucho más permanentes, cuesta mucho más cambiarlas. Entonces, lo que vamos a hacer es básicamente un cambio a un libro que se llama Constitución; pero al día siguiente vamos a seguir siendo los mismos, al día siguiente vamos a seguir con las mismas creencias, vamos a seguir con los mismos prejuicios, algunas cosas se pueden aplacar, a lo mejor puede haber cambios, pero en lo sustantivo cada persona en particular va a seguir siendo igual. No hay por qué pretender que al día siguiente que se firme la nueva Constitución va a haber un cambio revolucionario, vamos a seguir siendo más o menos iguales.

Entonces hay que tener cuidado con exigirle a la Constitución, cuestiones que la Constitución no está en condiciones de dar.

A mí lo que más me preocupa, es que debiéramos tratar de transmitirle a la ciudadanía que lo más importante es el régimen político; es decir, cómo va a funcionar después la democracia, porque esa democracia es la que va a tener que ir perfeccionando al Estado, poniéndole reglas, haciéndole chequeos, viendo a que no haya corrupción, etcétera.

Sr. Ascanio Cavallo.

—Mauricio, escuchando tu alarmante descripción de cómo evoluciona la deuda y sobre todo los intereses, creo entender que la Regla Fiscal o algo parecido a la Regla Fiscal, como el control del pago de la deuda o alguna forma similar deberían estar en tu opinión en el texto constitucional, deberían ser parte de la nueva institucionalidad y déjame hacer un comentario previo a la pregunta. El Presidente Lagos con el Ministro Eyzaguirre y Mario Marcel y otros técnicos crearon la Regla Fiscal, pero ellos mismos se estuvieron amarrando las manos durante 6 años para no echar mano a los ahorros y en cuanto se dejó de respetarla, la Regla se ha disuelto en forma muy parecida a la Alta Dirección Pública. Entonces hasta donde esto podría tener un estatuto jurídico superior que le diera una garantía. Tú piensas en el caso suizo, sé que hay otros casos ¿qué te parece a ti?

Sr. Mauricio Villena.

—Creo que un documento minimalista de la Constitución va a ser difícil de lograr, porque si un chileno dice ojalá tenga tres páginas, como la norteamericana, yo creo que va a ser difícil. Creo que siempre el equilibrio es mejor que tenga por un lado todos los derechos que, efectivamente, son derechos anhelados por la población y que tienen un sentido y un trasfondo histórico. Pero también tendría que establecer algunos deberes que debemos ponernos como país. Yo creo que si tiene que haber algo de Responsabilidad Fiscal en la Constitución. Hay economistas muy destacados, como Rodrigo Valdés, Rodrigo Vergara y el mismo Guillermo Larraín, trabajando en temas que tienen que ver también con la Constitución y la actividad económica.

Creo que sí tiene que haber algo de Responsabilidad Fiscal: no es algo lejano a otros países, la misma Constitución por decirlo así europea tenía el Tratado de Maastricht, que

aplicaba incluso para ver a qué países recibían. Era a ese nivel de importancia.

Y nosotros vamos a tener que pensar eso: el problema es que, en este momento, no es popular decir esto. Pero creo que es un deber decirlo y es que efectivamente estamos en una situación no alarmante per se, pero que si continua podemos tener problemas. Yo creo que es el momento de decirlo y es el momento no solamente de decir: “ahora vamos a poder poner todos los derechos, porque salió el amarre de la dictadura” y listo. Pero no, alguien tiene que levantar la mano y decir: “Ojo, la Regla es una institución tan importante como la Regla Fiscal que nace en democracia y que se trató de respetar en democracia por Gobiernos de izquierda, Gobiernos de derecha, etc., y debiéramos mantenerla, ¿cómo la vamos a perder? Cómo después vamos a decir no hay Regla Fiscal. El problema es que yo no sé si va haber una Regla Fiscal y si no va en la Constitución ¿cómo nos vamos a poner de acuerdo? Fue algo virtuoso que pasó ahí, siempre me saco el sombrero a economistas como Mario Marcel que sigue haciendo y proponiendo cosas que mejoran el país, y ¿vamos a tener esa generación de economistas que van a decir: “oye es el turno nuestro de hacer algo de este tipo”?”

Eso, por un lado, y por otro, creo que lo muestra el profesor Meller. Pasamos de un extremo a otro y ¿ahora nos vamos a volver al otro extremo? ¿Cómo no vamos a llegar al centro? Es decir, sabes que hay derechos y también algunos deberes, responsabilidad fiscal, no podemos gastarlo todo, no podemos gastar por mucho tiempo más allá de nuestros medios, ese equilibrio me preocupa. Aunque ustedes no lo crean es algo importante, que creo que sí, hay que pensar si va en la Constitución, muchos países lo tienen, definitivamente.

Sr. Ascanio Cavallo.

—*Lo que no podría ir es una frase que dijera: “ahorremos los próximos 10 años”*

Sr. Mauricio Villena.

—No, es un poco lo que dijo Guillermo, hay voluntarismo; si fuera por la Constitución no habría contaminación en

Santiago. Fíjense que el modelo suizo que mencioné, después de cinco años de aplicación, Alemania lo copia tal cual ¡Alemania!, que tiene muchos más recursos. Porque siempre las necesidades son infinitas y los recursos limitados, incluso en un país como Chile que es emergente y todo, eso debiera ser un compromiso. Yo creo que, si vamos a meter derechos, tenemos que meter deberes en la Constitución. Hay que pensar en este tema de la Constitución más como un mecanismo, un compromiso, vamos a tener que verlo así.

Ahora, efectivamente en este último pedacito que le queda a la Constitución actual, hemos visto que igual se ha vulnerado. Y, en realidad, lo que dijo Guillermo es válido, no hay Constitución ni pieza legislativa que pueda hacer que nos portemos bien, cómo cambiamos como chilenos, cómo nos ponemos de acuerdo haciendo la Constitución de todos los chilenos y hagamos un contrato social nuevo que incluya también responsabilidades y no solamente deberes.

Sr. Ascanio Cavallo.

—*Bueno, eso requiere un cierto tipo de optimismo, yo entendí que tú Guillermo y tú Patricio son también optimistas respecto del proceso constitucional, ¿no?*

Sr. Guillermo Larraín.

—Yo sí al menos, o sea optimista, pero consciente de los riesgos. Creo que hay escenarios que son malos, pero creo que en lo fundamental las cosas están más o menos bien. Creo que se están presentando buena gente para las listas de candidatos, me parece que vamos a tener un grupo de gente bastante competente al interior de la convención, creo yo, gente razonable; va a ser un buen ejercicio.

Es como la planificación estratégica de una empresa, que cuesta, es larga, detiene un poco el proceso de desarrollo, pero al final hay buenos resultados.

Sr. Ascanio Cavallo.

—*¿Tú también eres optimista Patricio?*

Sr. Patricio Meller.

—Sí, pero en este caso yo creo que se dice que el proceso puede ser muy interesante, pero ¿cuál va a ser el producto final? O sea, no solo importa el proceso, importan las dos cosas. Yo creo que sería interesante que tanto Guillermo como Mauricio hicieran una exposición similar a ésta en la Asamblea Constituyente, mostrando los dilemas que hay respecto al Estado. De la captura externa e interna y el cuadro este terrorífico que nos planteó Mauricio, respecto a cómo se introduce una gobernabilidad fiscal. O sea, el país al final del día, es igual que una familia, no puede gastar más del ingreso que genera, o sea, eventualmente tiene que sincerarse y Mauricio tú no reaccionaste ante lo que yo creo que es una propuesta muy interesante que hizo Guillermo, de hacer ver el trade off, el conflicto que hay, en el ejemplo de pagar más intereses, y como los intereses hay que pagarlos ¿en dónde corto? ¿Qué gasto social cortas? Para que se vea el trade off, el conflicto que hay. En una deuda creciente, pago una deuda creciente y eventualmente no queremos que nos pase lo de Argentina ¿qué gasto o derechos sociales se cortan?

Yo creo que esa manera de plantearlo puede hacer ver, el problema de agencia que plantea Mauricio. O sea, esto de la iniciativa exclusiva del Presidente. Bueno, ¿y si tenemos un Presidente irresponsable o inepto? Que no se da cuenta de lo que está pasando ¿qué se hace?

Por otro lado, hay varias Constituciones, hay varios países en los cuales no existe la iniciativa exclusiva del Presidente y el riesgo que estamos teniendo ahora con un Presidente con doctorado en Harvard, el país paralizado y sin soluciones, que no está ni ahí, que no se da ni cuenta de lo que está pasando. Entonces creo que ese tema Mauricio lo resuelve fácil, en el sentido de que hay que tener derechos, deberes y responsabilidades. Pero ¿cómo hacer responsable, y voy a ir más allá de como Mauricio lo plantea, porque él lo ha situado en el Parlamento.

Creo que algo que tiene que hacer este país es descentralizar, o sea, que Santiago deje de ser Chile. Entonces, en ese otro esquema en que descentralizamos hacia regiones y hacia quiénes tienen más claro dónde están las necesidades de la gente, que son los municipios y los alcaldes. ¿Cómo garantizamos o cómo evitamos ahí que se genere un tsunami de gran déficit público central?, ¿cómo se hace? Y ¿cómo se discute? Y eso es algo que queremos descentralizar, pero ¿cómo evitamos que eso pase?

Sr. Guillermo Larraín.

—Eso es otro riesgo para la Regla Fiscal, dicho sea de paso, los procesos de descentralización, son muy, pero muy caros.

Sr. Ascanio Cavallo.

—Para Guillermo. Uno de nuestros participantes hace lo que yo llamaría la pregunta utópica, pero que, de tan utópica, casi es indispensable de hacerla. ¿cómo sacar a los Partidos del control del aparato público y el nombramiento de los funcionarios? Es verdad que es una pregunta bien central y sobre todo cuando hemos llegado a un Sistema de Partidos en los que hay en el Congreso solamente 17, y fuera el Congreso unos 30 más.

Sr. Guillermo Larraín.

—Si, vi la pregunta que me hizo Sergio Gutiérrez y lo primero que me vino a la cabeza es si es posible o no, porque hay que ser realista, al menos entre ingenieros o ingenieros comerciales seamos realistas, no tenemos porqué contar necesariamente demasiados cuentos. Cuando uno habla de partidos políticos y redes de captura y eventualmente corrupción, se me ocurrió un ejemplo norteamericano del National Guard Service que les comenté acá. Y me parece que quizás, lo primero, es no pensar que esto va a ser una especie de Transantiago de la reforma del Estado. El Estado es una cosa que tiene que irse reformando permanentemente y lo que hay que tratar de hacer es detonar como una onda que tenga efecto expansivo. Y por lo tanto me da la impresión de que uno debiera tratar de partir, pero, eso sí, tratando de generar esta competencia que yo les mencionaba, el efecto de demostración que fue el del National Guard Service de Estados Unidos para el resto del Estado. Yo creo que esa es la forma más realista de plantearlo. Entonces yo tomaría algunas burocracias que funcionan bien. Por ejemplo, el Registro Civil: tenemos una imagen de esa señora que amenazaba con cerrar el Registro Civil si no le pagaban un bono, eso era la parte mala. Pero uno va al Registro Civil hoy en día y puede pedir hora y llegas y sacas tu cédula de identidad, sacas tu pasaporte relativamente en buena forma, yo diría que es una burocracia que está funcionando más o menos bien.

Observo burocracias como Impuestos Internos que en algún minuto fue estelar, hoy día probablemente menos, pero fue estelar. Yo creo que salvar Impuestos Internos de una eventual decadencia, ahí hay una burocracia que hay que tomar y que hay que proteger y trabajaría con ella para promoverla. El Banco Estado creo que también es una gran burocracia y me preocupa que tengamos un precandidato presidencial, cuando todos los presidentes previos ha sido gente que ha estado dedicada exclusivamente a la gestión del banco y que hablaban solo de cuestiones del banco, puras cosas aburridas. Hoy día tenemos a un presidente del Banco que está mucho más en estelares de televisión hablando de su campaña que de esto. Yo creo que hay que proteger al Banco Estado, es una gran burocracia.

Algunas superintendencias me parece que son muy buenas, lo que se fusionó en la CMF lo que viene de la Superintendencia de Bancos, Valores y Seguros me parece que son buenas burocracias. Yo también tomaría algunas de ellas y las trataría de reforzar, por un lado, hacerlas aún mejor, protegerlas de injerencias que a mí

me pareció que es lo fundamental, no existen o están muy acotadas y que eso sirva de efecto demostración para otras burocracias.

Por ejemplo, ahora se acaba de suprimir el SENAME, ¿es buena idea? Pero lo que es seguro que el SENAME nuevo tiene que nacer con un estándar altísimo, yo pondría mucha atención y mucha transparencia en cómo se estructura el SENAME.

Creo que hay que ir caso a caso, esto nunca, que va a ser demasiado rápido, quienes hemos trabajado, haciendo mediciones de productividad, cuando la productividad crece fuerte, está creciendo al 5% al año. Entonces yo trataría de pensar que más o menos que ésa es la velocidad a la cual vamos a poder ir mejorando, o sea, ganancia significativa en el 5% de la burocracia. No va a ser mucho más que eso, pero en un horizonte de 20 o 30 años el efecto compuesto de esas ganancias puede ser muy alto.

Muchas gracias.

Término del Foro.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS



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

En esta ocasión se presentan dos extractos de las entrevistas realizadas a la Ingeniera Marcela Munizaga Muñoz y al Ingeniero Andrés Weintraub Pohorille. Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.

MARCELA MUNIZAGA “Cada día es un regalo”.

Estudió en La Serena en el Colegio Inglés y estando en cuarto medio, tuvo una gran crisis vocacional. A medida que avanzaban los meses del último año de colegio, consideraba varias opciones, pero no se decidía. Recién en la última semana antes de dar la Prueba de Aptitud Académica, se decidió por estudiar Ingeniería en la Universidad de Chile. Hoy le cuesta imaginarse haciendo otra cosa distinta a la ingeniería.

Entre las figuras que fueron fuente de inspiración, menciona a su abuela Rebeca, una mujer valiente y rupturista; a su padre, quién sin tener mayores estudios, construyó máquinas y artilugios para facilitar no solo su trabajo en la industria pisquera, sino también la vida doméstica en el Valle de Elqui. También recuerda al ingeniero Álvaro Pulgar, quién en los momentos de confusión vividos en cuarto medio, la aconsejó hablándole de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

La llegada a Santiago y a la Escuela de Ingeniería fue motivante y desafiante a la vez. Venía de una ciudad y un colegio pequeño, donde todos se conocían. Al llegar a Santiago se le abrió un mundo de posibilidades, de conocer personas y miradas distintas. En la Facultad eran cien alumnos por sección y había ocho secciones. Era la época de los inicios del rock latinoamericano, en que algunos grupos venían a tocar a Santiago y fue con sus compañeros a varios recitales, como el histórico y recordado Free Concert en 1986 en el Estadio Chile.

En primer año y recién llegada a Santiago, en su primera prueba obtuvo un 1,7. Era Introducción a la Física con el profesor Igor Saavedra. Acostumbrada a las buenas notas del colegio, rápidamente aprendió que en la Universidad la cosa era distinta. Reaccionó y empezó a estudiar en serio, terminando el curso con promedio 6,5 el más alto ese semestre, y tiempo después, fue Ayudante del curso con el profesor Igor Saavedra, su gran maestro. Al finalizar el Plan Común eligió Ingeniería Civil con especialidad en Transporte porque le pareció que era una especialidad que permite contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas, y que tiene impacto en la sociedad.

Entre quienes influyeron en su formación académica, menciona a Raúl Uribe e Igor Saavedra, profesores de Cálculo y Física. En los años en el Departamento de



Ingeniería Civil, recuerda a profesores que fueron luego colegas, como María Ofelia Moroni, Ximena Vargas, Ernesto Brown y Maximiliano Astroza, entre otros. En la especialidad de Transporte señala a los profesores Jaime Gibson, Tristán Gálvez, Sergio González y Sergio Jara, quien fue su Profesor Guía del pregrado. En el doctorado, que hizo en la Pontificia Universidad Católica de Chile tuvo como supervisor al ahora Profesor Emérito Juan de Dios Ortúzar.

Elegió la Universidad de Chile por su prestigio en cuanto a rigor científico en la formación de los estudiantes, por la variedad de disciplinas que allí se cultivan y por la diversidad de compañeros y compañeras, que sabía le esperaba. En ese lugar conoció a su esposo César Romero y ahora allí estudian dos de sus hijos.

A la pregunta de qué ramos le han servido en su vida profesional, ella responde: “probablemente todos y ninguno”, y agrega, que la formación profesional le entregó herramientas amplias, que le han permitido desarrollar los métodos necesarios para enfrentar distintos problemas. También valora los cursos humanistas, Literatura I, II y III, que cursó con dos destacados escritores, Nicanor Parra y Jorge Guzmán.

Cuando estaba terminando el pregrado, se abrió un concurso al cuál postuló e ingresó a la carrera académica en

la jerarquía de Ayudante, asumiendo el compromiso de seguir un programa de doctorado. Una vez que decidió hacerlo en Chile, la mejor opción para ella fue la Pontificia Universidad Católica de Chile, que estaba iniciando un programa de doctorado en Ciencias de la Ingeniería con varias menciones. Era el primer programa de doctorado en Chile en incluir Transporte entre sus áreas temáticas, y por tanto, fue parte de la primera generación de estudiantes.

Un logro importante fue el haber alcanzado la jerarquía de Profesora Titular, que es la más alta jerarquía académica posible, e implica el reconocimiento de los pares. Otro logro importante es tener reconocimiento internacional por su trabajo, algo muy importante en el ámbito académico, y por ello ha sido invitada a dar charlas en distintos países, a comités de tesis de doctorado de prestigiosas universidades y participar de comités editoriales de revistas, entre otras cosas. También fue durante seis años Co-Chair del International Steering Committee for Transport Survey Conferences, en conjunto con el otro co-chair estuvieron a cargo de la organización de dos conferencias internacionales, una en Australia y otra en Canadá, y la publicación de dos libros.

En cuanto a sus líneas de investigación, los primeros años se dedicó a la modelación de demanda de transporte, donde hizo contribuciones en la estimación de modelos Logit con restricción del conjunto de alternativas, la calibración de modelos de asignación de tiempo a actividades y viajes, y la calibración de modelos de elección discreta con distintas estructuras de error. Durante los últimos años ha trabajado en el uso de datos masivos de transporte público para modelación, planificación y gestión del sistema.

Su principal proyecto de Ingeniería es el proyecto ADATRAP, que consiste en la creación de un software de Análisis de Datos de Transporte. Su participación fue como directora del proyecto y creadora de las metodologías implementadas en el software. Los resultados de ADATRAP son utilizados intensamente por el DTPM y otras reparticiones del Estado, como SECTRA y Metro, para tomar decisiones de operación, planificación e inversión en infraestructura.

En otras actividades, participa de la Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte, donde estuvo en el Directorio desde 1999 hasta 2016, y la presidió desde 2005 hasta 2017. Participa habitualmente de comisiones y consejos asesores sobre distintos temas convocados por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, o por la Presidencia de

la República, como es el caso de la Comisión Promovilidad Urbana, convocada por la Presidenta Michelle Bachelet. También fue parte del Directorio de Metro durante 2018. A partir de este año forma parte del Directorio del Instituto de Ingenieros de Chile.

Entre las decisiones importantes de su vida, señala la de haber reducido la jornada laboral durante el periodo de crianza de sus hijos. Una decisión difícil, que tuvo resistencia por parte de algunos de sus colegas, pero visto en retrospectiva, agradece por haber estado disponible para sus hijos cuando la necesitaban. Recuerda también que durante el doctorado hizo una estadía de un año en Londres, con una beca British Council-CONICYT, donde su esposo consiguió un permiso en su trabajo para acompañarla y apoyarla en todo momento.

Un área en la que se ha desempeñado en los últimos años es la administración académica. El Decano Francisco Martínez la invitó en 2018 a ser parte del equipo directivo de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, en el rol de Directora Académica y de Investigación. Es la primera vez en la historia de la Facultad que una mujer ocupa ese cargo, la primera vez también que asume un equipo directivo paritario. La ingeniería también le ha servido en ese desempeño.

Como profesora en el Departamento de Ingeniería Civil, lleva ya muchos años. Ha dictado los cursos de análisis de sistemas de transporte, modelos de demanda y modelos avanzados de demanda, entre otros. Ha sido profesora guía de 13 memorias de título, 21 tesis de magíster, y una tesis de doctorado. La Universidad de Chile le entregó un premio a la docencia destacada en el año 2007.

En perspectiva de género también ha desarrollado algunas iniciativas y menciona en ese ámbito el trabajo colaborativo del grupo Adelina Gutiérrez, que ha impulsado varias iniciativas para mejorar la calidad de vida y la equidad de género en la Facultad. Al principio eran pocas mujeres académicas en la Facultad con situaciones comunes que hacían más compleja la carrera académica; había cosas que querían cambiar o mejorar, y se juntaron para propiciar soluciones para todas y para las futuras generaciones. Así fueron surgiendo ideas y proyectos que se han ido materializando en el tiempo, como la construcción de una sala cuna, la creación de la figura del Mediador Universitario, el Programa de Ingreso Prioritario de Equidad de Género, el Programa de Equidad de Género en la Academia, y la

creación de la Dirección de Diversidad y Género dependiente del Decanato.

Marcela se define como una persona realizada. Se siente contenta con lo que ha logrado y con las decisiones que ha tomado a lo largo de su vida. Cree que cada día es un regalo y un desafío por descubrir. Entre sus talentos destaca el saber mantener la calma, mirar las cosas en perspectiva, y mantener siempre el optimismo. Su filosofía de vida es intentar siempre dar lo mejor de sí, pensando en el bien común. Piensa que quienes han tenido el privilegio de estudiar y acceder a conocimientos avanzados en un área, tienen el deber de poner eso a disposición de la sociedad. Por ello, quisiera ser recordada como una persona generosa, que logró hacer algunas contribuciones.

Considera que los ingenieros tienen que aportar al desarrollo sustentable, y a construir una sociedad más equitativa y justa. Que el trabajo multidisciplinario será muy importante para ello. Que la diversidad de miradas y la integración de herramientas, permitirá encontrar nuevas y mejores soluciones.

A las nuevas generaciones les dice que disfruten de su profesión, que realicen su tarea con entusiasmo, y siempre pensando en el bien común. Confía en que ellos serán quienes logren concretar el sueño de un mundo más sustentable e igualitario.



ANDRÉS WEINTRAUB POHORILLE “Ingeniero multifacético”.

Entró a estudiar ingeniería en la Universidad de Chile y confiesa que, si bien no recuerda cuando partió su interés por la ingeniería, de alguna forma, estando en el colegio, siempre supo que iba a estudiar esa carrera, en esa Universidad, no consideraba otra alternativa.

En los primeros años de universidad, lo impresionaron mucho los profesores Arturo Arias e Igor Saavedra. En el momento de elegir especialidad comenta que se inscribió en Ingeniería Eléctrica, sin saber realmente lo que era. Si bien encontraba esta disciplina muy interesante, sentía que no era realmente lo que él quería hacer y un amigo de ingeniería industrial que sabía que no estaba muy contento con su elección de carrera, le recomendó que tomara el curso de “Investigación de Operaciones” que impartía Eduardo Schwartz, lo cual, en sus palabras, “le cambió la vida”

De su formación en la Escuela de Ingeniería destaca el énfasis que se le daba a la ciencia básica y a la estimulación del pensamiento crítico, tradición que cree que la más indicada para la formación en un mundo en el que los cambios tecnológicos son muy rápidos. Además de que la calidad de la formación que recibió, en su opinión, no



tenía mucho que envidiar a las universidades de los países de Europa o de Estados Unidos.

Al salir de la Escuela de Ingeniería, hizo su tesis en Investigación de Operaciones, en Entel, y luego de dar su examen de grado se casó y partió a la Universidad de Berkeley, en Estados Unidos, a estudiar su doctorado.

En su formación, fue muy importante realizar un Doctorado en Estados Unidos. En la época en que lo realizó, indica, Berkeley era la universidad número uno de Estados Unidos. Existían muy buenos profesores por lo que fue una gran experiencia educacional, en un esquema de formación muy distinto al que estaba acostumbrado en Chile, un esquema en el que si estudiaba y entendía la materia le iba a ir muy bien. Confiesa que fue un cambio brusco; en el que debió pasar a un sistema ordenado, en el que debía estudiar clase a clase y que lo que le pedían era lo que podía hacer. Esto le cambió un poco su forma de pensar. Lamentablemente en Chile señala, aún no ha sido posible adoptar este sistema en la carrera de Ingeniería.

Otra diferencia importante señala es, que en la medida en avanzaba en su desarrollo académico, le pedían más creatividad en sus trabajos. A modo de ejemplo comenta que, cuando tuvo que hacer su tesis de doctorado, fue a hablar con varios profesores, preguntando sobre un tema a investigar y la respuesta de varios profesores fue: “Mire, lea, a ver si se le ocurre algo”. Con ello, comenzó a leer y de repente se le ocurrió una idea, con la cual avanzó bastante en su tesis. Hoy en día señala, esto ha cambiado mucho; los profesores guían mucho más las tesis que son, más bien, un trabajo en conjunto.

En relación a las nuevas generaciones de investigadores señala que, con la globalización, los jóvenes están mucho más preparados para enfrentar el mundo y muchos salen a estudiar, trabajar y viajar, pero un alto porcentaje de ellos se quedan al menos unos años en Estados Unidos, muchas veces en Universidades, lo que no ocurría en la época en la que él estuvo en Estados Unidos.

El primer trabajo que consiguió, luego de terminar su doctorado fue uno de media jornada en el Servicio Forestal de Estados Unidos. La persona que lo contrató era quien diseñó y desarrolló el primer modelo Investigación de Operaciones para planificación forestal, modelo que utilizó el Servicio Forestal de Estados Unidos durante más de dos décadas para planificar el manejo de los bosques. Cuando volvió a Chile, recuerda, no había investigación ni publicaciones en el área de Investigación de Operaciones, tampoco existían investigadores mayores, en quienes apoyarse; por lo que ese trabajo y la posterior relación profesional que mantuvo con el Servicio Forestal de Estados Unidos le permitió seguir ligado al mundo de la investigación en el área forestal, asistir a conferencias y mantener contactos con investigadores de Estados Unidos. A través de los

años, gracias a su gran sociabilidad, ha construido una importante red internacional de contactos en su área de investigación, que le ha permitido integrarse al circuito internacional.

En su visión acerca del impacto de la ingeniería industrial en otras disciplinas declara que, en el país, si un profesional quiere hacer una carrera gerencial y salir de la parte técnica, tiene que tener una formación en ingeniería industrial, sobre todo en lo relacionado con operaciones, finanzas y manejo de negocios, a la vez que cultivar sus habilidades directivas. De ahí el impacto que tiene la ingeniería industrial en otras disciplinas.

En Chile, agrega, que la carrera de ingeniería industrial, al haber pocas empresas que están en innovación a alto nivel, es mucho más atractiva y es la que atrae a una mayor parte de los estudiantes. Este es un tema que es necesario enfrentar como país, ya que será difícil ser competitivos si en las áreas de alta tecnología no existen ingenieros que estén en la frontera del conocimiento, para que desarrollen estas industrias. En otros países, esto no ocurre y la ingeniería industrial es una carrera relativamente menor, siendo más relevantes carreras técnicas tales como: Ingeniería Eléctrica, Computación y Biotecnología, entre otras.

En relación a su familia, señala que su esposa Marisa es Socióloga y realizó posteriormente un doctorado en Estadística, en Estados Unidos. A ella se suman dos hijos mellizos, Marcela, que es socióloga como su esposa, hizo un Magister en Estudios Latino Americanos y trabaja como consultora y Gabriel, que estudió Ingeniería Industrial en la Universidad de Chile, realizó su doctorado en la Universidad de Stanford, y trabaja en esa universidad en un área en la que se combinan investigación de operaciones con microeconomía.

En relación a sus intereses más allá de la ingeniería, confiesa que siempre ha sido fanático del Club de Fútbol de la Universidad de Chile y que una de las cosas más importantes que le han pasado en los últimos 7 años fue entrar al directorio de Azul Azul. Dentro del Club, en estos momentos de pandemia, está concentrado en un proyecto, la Familia Azul, que apoya a familias azules con problemas económicos. También está trabajando en la relación Universidad con el Club, armando, entre otras actividades: programa con los jugadores juveniles, dándoles herramientas de apoyo, como preuniversitarios y ciclos de

charlas. Este fanatismo por el club se lo transmitió a su familia. Un día inolvidable para él y su familia fue cuando la U salió campeón y dio con su hijo y su nieto la vuelta olímpica con el equipo, con 45 mil personas gritando.

En su carrera profesional, a principios de los años 80, formó con dos amigos: uno brasileño y uno argentino la Sociedad Latinoamericana de Investigación de Operaciones, luego fue presidente de esta institución y posteriormente accedió a la Federación Internacional de Sociedades de Investigación Operacional, institución que incluye 50 países y 30.000 miembros, como uno de sus vicepresidentes, representando a Latinoamérica. Luego fue presidente de esta institución.

Siempre le ha entusiasmado transmitir ideas, formar equipos de trabajo y desarrollar proyectos. Está muy orgulloso del grupo que formó en Ingeniería Industrial, que es de nivel internacional, desarrolla proyectos de alto impacto y está muy comprometido con el país, los alumnos y la Universidad,

En su destacada carrera, ha recibido numerosas distinciones como la de ser Miembro de Número de la Academia Chilena de Ciencias y de la Academia Nacional de Ingeniería en Estados Unidos e importantes premios como el Franz Edelman Prize Competition (1998), el Harold Larnder Memorial Prize (2000), el Premio Nacional de Ciencias Aplicadas (2000) y el premio Medalla de Oro del Instituto de Ingenieros (2012). Declara que, si bien considera que es un honor recibirlos, son un reconocimiento importante y ayudan a proyectarse, pero más importante es desarrollar el trabajo sin pensar en los reconocimientos y si estos llegan, son bienvenidos.

Estos reconocimientos le abrieron los ojos a pensar que el trabajo de su grupo era de nivel internacional y que podían competir en las ‘grandes ligas’, realizando proyectos en importantes empresas e instituciones.

En relación a sus talentos, confiesa que su fuerte nunca ha sido la rigurosidad y la profundidad de sus análisis y que le ha ido bien con la parte intuitiva de sus ideas.

Para referirse a sus valores, habla de los valores que adquirió cuando era joven y que ha mantenido durante toda su vida: ser correcto, transparente, no tener agendas ocultas, no ser egoísta, transmitir y compartir, valores que se transmiten a las generaciones más jóvenes a través del ejemplo. Considera que es fundamental la parte valórica y se pregunta: ¿cómo hacemos para que nuestras generaciones jóvenes tengan valores correctos?

Andrés Weintraub, si bien cree que es importante dejar algún legado en sus estudiantes, en el impacto de sus trabajos en la academia y en el país, lo que más le importa son los afectos y espera que la gente lo recuerde con cariño. Al definirse en pocas palabras, señala que le es difícil definirse ya que cree que todos somos multifacéticos.

En relación con su visión de la ingeniería en el futuro, indica que el salto tecnológico actual, en su opinión está relacionado con áreas específicas y que no podemos saber cuál será la evolución que tendrá esta tecnología en 15 o 20 años más; por ello, la formación de los ingenieros debe estar orientada a que ellos estén preparados para los cambios que vienen. Esto requiere que tengan una muy buena base de conocimientos y la flexibilidad necesaria frente a los cambios, reforzando además la formación en áreas de Humanidades.

Para finalizar envía un mensaje a las nuevas generaciones: “Cuando elijan a qué se van a dedicar, piensen en lo que realmente les gusta, en su pasión. Traten siempre de combinar las aspiraciones económicas con una actividad que realmente les apasione y junto con la pasión, desarrollen un compromiso, con su país, su entorno, su Universidad, su mundo ya que la vida compartida enriquece mucho”.



IN MEMORIAM DE JORGE LÓPEZ BAIN

Con profundo pesar recibieron los miembros del Instituto de Ingenieros de Chile la noticia del fallecimiento de Jorge López Bain.

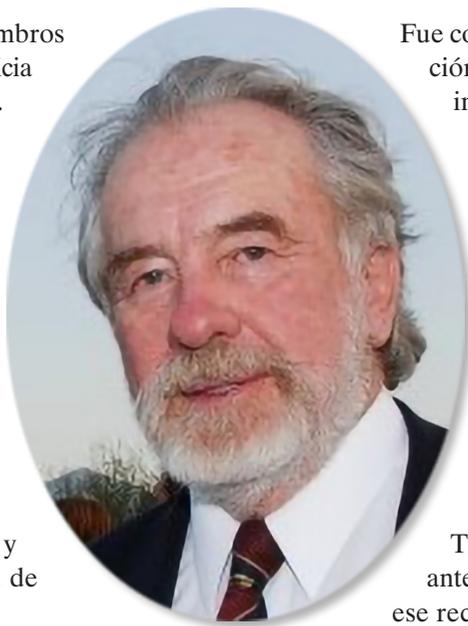
Jorge López nació en Valparaíso en 1939; recibió su educación en el colegio Saint George's, el Instituto Nacional, la Escuela Militar y finalmente en la Universidad de Chile, donde se tituló como Ingeniero Civil.

Su padre, oficial de la Fuerza Aérea de Chile, murió en un accidente de aviación cuando Jorge tenía 5 años, fue así testigo de los esfuerzos laborales de su madre e intuyó la respetabilidad y grandeza del trabajo y la importancia de las personas en su desarrollo.

Recién recibido, se inició profesionalmente en la Compañía de Acero del Pacífico y desarrolló su vida profesional relacionado con la minería y la construcción a lo largo de todo Chile.

Se vincula con la Minera San José, subsidiaria de Saint Joe Minerals de Estados Unidos, luego participa en el desarrollo del proyecto minero "El Indio", desde sus incios; pronto ocupa el cargo de Vicepresidente, tanto de la Compañía Minera San José como de la Compañía Minera El Indio.

Complementa su labor profesional con obras de carácter social como miembro de la directiva de la Universidad de La Serena, la Sociedad Nacional de Minería y el Instituto de Ingenieros de Chile, del que fue su Presidente entre los años 1992 a 1994. El año 1988, nuestra corporación lo había distinguido con el premio Julio Donoso Donoso. El año 1989 asume como Ministro de Minería.



Fue conocido también por su entusiasta relación con el golf, que lo llevó a promover su integración a las regiones y eventos que implicaran mayor participación social. Presidió la Federación Chilena de Golf entre los años 2006 y 2010, Su origen inglés y su pasión por el rugby lo hizo participar como destacado jugador del Prince of Wales Country Club. Esa afición lo llevó a organizar un equipo de rugby en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile donde muchos ingenieros jugaron con orgullo compitiendo con prestigiosos adversarios. Algunos como Enrique Tirapegui y Ernesto Brown, que partieron antes que él fueron entusiastas defensores de ese recordado equipo del cual era su capitán.

Escribió numerosos artículos en la prensa nacional y, también, fue autor del libro "Testigo presencial: Chile 1940-2010".

Jorge López fue un activo miembro del Instituto donde canalizó sus inquietudes personales y profesionales y mantuvo e incrementó sus relaciones de amistad que, en algunos casos, se remontaban a su época del colegio. Fueron numerosos sus aportes, destacando entre ellos su participación en la opinión del Instituto en la Ley Orgánica Constitucional de Bases del Medio Ambiente y en la discusión del Código de Aguas, tanto en la DGA como en el Congreso Nacional.

Despedimos a nuestro querido miembro del Instituto Jorge López Bain, que descanse en paz.

ISSN 0716 - 2340



**ANALES
DEL INSTITUTO
DE INGENIEROS DE CHILE**

Vol. 133, N° 1 - ABRIL 2021

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

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

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

Anales del Instituto de Ingenieros

Vol. 133, N° 1, abril de 2021.

Contenido

ALGUNOS ASPECTOS GEOTECNICOS EN CONSTRUCCION DE PAREDES DIAFRAGMA. Sergio Irarrázaval Zegers.	Pág. 1
EL ROL DE LA VISUALIZACIÓN Y LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA INGENIERÍA DE SOFTWARE. Alexandre Bergel.	Pág. 7
IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GLACIARES DE LA CUENCA DEL RÍO OLIVARES, CHILE. Javier Cepeda y Ximena Vargas.	Pág. 13
MORFOMETRÍA Y DIMENSIÓN FRACTAL DE REDES DE DRENAJE DE GRANDES CUENCAS DE CHILE. Francisco Martínez C., Alberto Ojeda y Hermann Manríquez.	Pág. 27

Editor

Raúl Uribe Sawada, Instituto de Ingenieros de Chile.

Comité Editorial

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ALGUNOS ASPECTOS GEOTECNICOS EN CONSTRUCCION DE PAREDES DIAFRAGMA

Sergio Irrarázaval Zegers¹

RESUMEN

Para construir una pared diafragma en arena saturada, o grava-arena es necesario excavar una zanja con lodo bentonítico o polímero (ZRL: Zanja Rellena con lodo) para estabilizar sus paredes, [1]. En general, esto es adecuado. Teóricamente, sin embargo, existen situaciones que pueden dificultar la excavación. Los sismos pueden inducir licuación, y, la condición de acuíferos artesianos que podrían manifestarse en la construcción, constituyen factores potencialmente destructivos de las zanjas, con los consecuentes problemas de costo y de programación.

¹ Ingeniero Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Consultor Geotécnico. E-mail: sirrazavalz@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El método de construcción de paredes diafragma, embebidas en el suelo, ZRL, se inició a mediados del siglo pasado en Italia. Así se desarrolló la excavación de ZRL, que alojarían las paredes. Su principal aplicación está en excavaciones en arenas limpias saturadas, en que las paredes de la ZRL no colapsan debido a la presión ejercida por el lodo contra las mismas. Existen dos situaciones, quizás de poca recurrencia, que requieren la atención de ingenieros de proyectos. Nos referimos a la licuación en un sismo o la presencia de acuíferos artesianos, que pudieren amagar la excavación de la ZRL, con consecuencias graves, de costo en la construcción de la ZRL, y retraso en la programación. No cabe la menor duda que esto debe prevenirse. En este artículo presentamos métodos para prevenir estas dos situaciones. Se destaca que, las consideraciones respectivas son de poca mención en las referencias sobre ZRL. Quizás por acaecer esporádicamente.

ACUIFERO ARTESIANO

Comenzaremos analizando el efecto de un acuífero artesianos en la excavación de la ZRL. Su presencia en una ZRL puede significar un grave daño a la misma. Si durante la etapa de exploración no se detecta, y sucede que la excavación afecta al acuífero, esto puede significar una gran afluencia de agua, que no permite trabajar. Entonces es fundamental detectarlo durante la exploración, definir sus dimensiones, y ver cómo afecta al trazado de la ZRL. Como consideración fundamental se debe detectar el acuífero artesianos, pero sin pincharlo durante el sondaje. La literatura al respecto, aparentemente, no menciona un método que satisfaga esa consideración. Este autor sugiere una modificación de una técnica geofísica, consistente en la medición de ondas de cuerpo S y P. La idea es la siguiente; el acuífero artesianos es geotécnicamente una arena limpia no-fina saturada, cuya presión de poros es superior a la hidrostática, pudiendo alcanzar valores realmente importantes, pudiendo ser a veces una altura piezométrica superior a la cota de nivel del suelo natural. Es evidente que esa presión de poros tan alta afecta a la presión efectiva vertical del acuífero, disminuyéndola sustancialmente. Lo mencionado es la clave para detectar el acuífero artesianos. Esta idea

inédita, involucra la diferenciación de las velocidades de ondas P y S respecto de sus valores habituales de acuíferos no-artesianos. La razón de esto es que ambas velocidades de ondas son función del módulo de deformación (módulo de Young) del suelo. Como es sabido, ese módulo es proporcional al confinamiento o a la presión efectiva vertical σ_v' . Luego, en un acuífero artesianos, ese módulo toma un valor bajo, y, por lo tanto, las velocidades de ondas P y S adquieren un valor inferior al valor normal (sin acuífero artesianos). Esto es de una importancia teórico-práctica. El contraste de valores, que puede ser importante, permitiría la definición del acuífero artesianos. Sin embargo, esta metodología inédita, tiene como requisito que no se debe extraer una muestra de suelo del acuífero, puesto que esa acción implicaría serios problemas en la etapa de exploración. Además, si durante la excavación de la ZRL, se pincha el acuífero artesianos, por desinformación, esto puede significar un traspie importante, con efectos económicos y de programación. Por otro lado, si la tecnología mencionada detecta el acuífero artesianos sería necesario aclarar qué determinación tomar:

- cambiar de posición y definir un nuevo trazado para la ZRL o quizás groutear dentro del acuífero de tal forma que durante la excavación de la ZRL no se produzca un súbito alivio de presiones de poros, con los consecuentes problemas en la faena.

Por otra parte, sería conveniente establecer de alguna forma, valores de referencia para las velocidades de ondas S y P, en acuíferos no-confinados.

A continuación pasaremos a ilustrar lo anterior. Primero definiremos las expresiones de V_s (velocidad de propagación de onda de corte) y de V_p (velocidad de onda de compresión). De la referencia [2] :

$$V_s = \sqrt{G/\rho}, \quad (\text{raíz de } G/\rho) \quad (1)$$

$$\text{donde, } G = E / 2(1 + \mu) \quad (2)$$

G es el módulo de corte; E es el módulo de Young y μ es el coeficiente de poisson.

De la misma referencia, se tiene:

$$V_p/V_s = \sqrt{[2(1 - \mu)/(1 - 2\mu)]} \quad (3)$$

Para $\mu = 0,33$ (condición drenada) se obtiene:

$$V_p / V_s \approx 2,0 \quad (4)$$

Por otra parte, V_s es proporcional a $(\sigma_o')^{0,25}$, donde (σ_o') es la presión efectiva de confinamiento, [2];

considerando K_o = coeficiente de empuje en reposo, $K_o = 1 - \text{sen}\theta$, se obtiene, [2],

$$\sigma_o' = (\sigma_v'/3) (3 - 2\text{sen}\theta)$$

Suponiendo $\theta = 33^\circ$ (densidad media arena),

$$\text{resulta, } \sigma_o' = 0,63 \sigma_v' \quad (5)$$

Además,

$$V_s \text{ artesiano} / V_s \text{ normal} = (\sigma_o'_{1'})^{0,25} / (\sigma_o'_{2'})^{0,25} \quad (6)$$

donde,

subíndice 1 = artesiano

subíndice 2 = normal

reemplazando (5) en (6) resulta:

$$V_s \text{ artesiano} / V_s \text{ normal} = (\sigma_v1' / \sigma_v2')^{0,25} \quad (7)$$

De (4) y (7) resulta:

$$V_p \text{ artesiano} / V_p \text{ normal} = (\sigma_v1' / \sigma_v2')^{0,25} \quad (8)$$

Se aprecia que la relación (artesiano/normal) es igual para ondas S y ondas P.

Ilustraremos la aplicación de lo anterior, teóricamente, en el ejemplo a continuación.

EJEMPLO TEORICO

Sea un terreno con algunos metros de espesor sobre roca basal tal que:

Nivel Freático = cota 0,0 m.

Estrato artesiano de cota - 5,0m a cota - 10m

Estrato artesiano caracterizado por arena no-fina limpia saturada, SW o SP, o grava arenosa, GW o GP.

Calcularemos el cociente $V_p \text{ artesiano} / V_p \text{ normal}$ y $V_s \text{ artesiano} / V_s \text{ normal}$ para el centro del estrato, es decir,

a - 7,5 m. Supondremos un peso unitario promedio del suelo saturado de 2,0 Ton /m³.

Entonces:

$\sigma_v'2 \text{ normal} = 7,5 \text{ m} \times 1,0 \text{ Ton/m}^3 = 7,5 \text{ Ton/m}^2$, en el centro del estrato. En la TABLA se presentan los cálculos.

Sea Δu el incremento de la presión de poros, por sobre el valor hidrostático que es 7,5 Ton/m².

Se calculará el cociente V_s1/V_s2 y V_p1/V_p2 para las velocidades de ondas de corte y de compresión. El subíndice 1 corresponde a artesiano, y el 2 a normal.

TABLA			
Δu	σ_v2'	σ_v1'	$(\sigma_v1' / \sigma_v2')^{0,25}$
Ton/m ²	Ton/m ²	Ton/m ²	
5	7,5	2,5	0,76
7	7,5	0,5	0,508
10	7,5	-2,5	----
15	7,5	-7,5	----

COMENTARIOS

La última columna de la TABLA corresponde al cociente $V_{\text{artesiano}} / V_{\text{normal}}$ para ondas S y P, de acuerdo a ecuaciones (7) y (8). Los valores negativos de σ_v1' implican que el acuífero artesiano es una masa de suelo-agua, careciendo de estructura de suelo. En ese caso la medición de V_p es el valor en agua, es decir del orden de 1460 m/seg, valor siempre superior a V_p de arena saturada normal. A continuación, se demostrará ésta afirmación.

El módulo de Bulk del suelo $E_b = E/[3(1-2\mu)]$, [3], donde,

E = módulo de deformación de arena saturada

$E = 200 \text{ MPa} \approx 2000 \text{ kilos/cm}^2$, máximo valor en arena densa,

μ = coeficiente de poisson de la arena $\approx 0,35$ normalmente,

resulta $E_b = 2,222$ kilos/cm², quizás valor cercano al máximo en suelos.

La velocidad de onda P en el agua (V_p agua) se define, [2],

$$V_p \text{ agua} = \sqrt{(B_w/\rho_w)} ,$$

donde, B_w es el módulo de Bulk del agua y ρ_w es la densidad del agua. Introduciendo los valores adecuados, resulta, $B_w = 21,840$ kilos/cm², es decir del orden de 10 veces el valor de la arena. De lo expuesto se deduce que, la V_p de la arena saturada nunca alcanzará el valor del agua ≈ 1460 m/seg.

DISCUSION

El problema es que se cuenta solo con la medida de V_p en el acuífero artesiano (supuestamente) y no con V_p normal, para comparar. Además se desconoce la granulometría del acuífero artesiano. En realidad es difícil dar una respuesta que permita afirmar que se trata de un acuífero artesiano.; quizás la única forma sería que la V_p sea muy baja, ¿cuánto es muy baja? lo que tampoco está claro.

CONCLUSION

Por el momento, aparentemente, no existe un método para detectar un acuífero artesiano. Esto en la fase de exploración. Si en la fase de construcción de la ZRL, la pala de la excavadora alcanza el acuífero artesiano, podría ser muy grave, en el caso que la altura piezométrica sea de mucha importancia. Incluso si se detecta, podría ser difícil groutear, como solución al problema. En resumen en la actualidad, estamos con dificultades. Todo lo anterior por supuesto si la presión de poros del agua del acuífero artesiano es muy alta.

LICUACION

La licuación constituye otro potencial problema a la construcción de ZRL, [4], [5]. Es indudable que se debe analizar su posibilidad de ocurrencia durante la construcción ya que, si se produce, puede significar pérdidas económicas y problemas de programación. Durante la etapa de exploración debe detectarse, con el objetivo de definir donde pudiera estar presente, es decir en cuales paneles (secciones de la ZRL), en planta y profundidad. Así, se debe estimar para cada panel, la posibilidad que ocurra, en ambos lados del mismo. Los sondeos adecuados deben distribuirse en planta y en profundidad. Respecto de la profundidad de los mismos, no deben ser inferiores a 15 m. En ZRL con profundidad (altura) de paneles superior a 15m, explorar y analizar hasta profundidades $\geq 30,0m$ criteriosamente.

El criterio por aplicar sería,

$$DR\% \geq 75\% \quad \Rightarrow \text{no-licúa}$$

$$DR\% < 75\% \quad \Rightarrow \text{licúa}$$

Como criterio aproximado. Si existe posibilidad de licuación se puede aplicar algún método para eliminar tal posibilidad, como densificación en profundidad, mediante Vibrocompactación, Vibroflotación, Compactación Dinámica, etc. Respecto del método para evaluar densidad relativa se recomienda el uso de un densímetro nuclear de profundidad, que registra el Peso unitario de la arena, [4], desde el sondeo. En Chile existe tecnología para eso. Y desde muestras de arena estimar el P.U. máximo (P.U. = peso unitario) y mínimo, que junto con el valor natural, permite definir la DR%, [6].

Es de consideración que, el análisis de licuación no se realice basado en el método de Seed y derivados, ya que el error en su estimación fluctúa entre 25% a 42 %, [5]. Tampoco utilizar el CPTU (Ensayo de penetración con medición de presión de poros) recomendado en [7], ya que, en arenas con finos, este método no entrega valores confiables, según [8]. El mismo comentario para arena fina limpia, [8].

CONCLUSIONES

Las consideraciones teóricas de este artículo, respecto de napas artesianas y licuación, son aspectos que a veces no son considerados en proyectos de ZRL. Su importancia puede ser clave y afectar gravemente quizás, la construcción de ZRL.

Respecto de las **Napas Artesianas**, como se vio, existe dificultad en la detección previa a la construcción de las ZRL, al considerar que no se usen sondajes por una posible megasurgencia de agua desde el acuífero artesiano. Quizás ayudaría un estudio hidrogeológico previo.

En cuanto a la **licuación**, se debe definir juiciosamente la profundidad de exploración y la ubicación de puntos de exploración en planta.

Los dos aspectos mencionados son claves durante la construcción de la ZRL. Los sismos en Chile que pueden inducir licuación, son una realidad. La consideración de estos dos aspectos constituye la utilidad de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] Irarrazaval Z., Sergio, Estabilidad de zanjas rellenas con lodo bentonítico, 1975, Tesis de Ingeniero Civil PUC.
- [2] Das Braja M., Principles of soil dynamics, 1993, p.73,75,158-159.
- [3] Bowles J.E., Foundation Analysis and Design, 5ª edición, 1996, p. 123,125.
- [4] Irarrazaval Z. Sergio, Estabilidad Sísmica de Zanjas rellenas con lodo bentonítico (ZRL), 2021, Revista de OO.PP. del MOP, próximo a publicarse.
- [5] Irarrazaval Z. Sergio, LIQUEFACTION POTENTIAL EVALUATION SPT BASED, 2021, Congreso IN-SITU CONFERENCE N° 6 (ISC'6) Europa, a publicarse.
- [6] NORMAS ASTM PARA DENSIDAD RELATIVA ASTM D4253-16e1 Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table. Actualizada Noviembre 2019.
- ASTM D4254-16 Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density. Actualizada 2016.
- [7] Youd T.L. et al., "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", 2001, J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, N° 10, p. 817- 833.
- [8] Irarrazaval Z. Sergio, CPTU CRITICISM, 2019, International In-situ Conference, ICCS-2019, Singapore. 15 p.

EL ROL DE LA VISUALIZACIÓN Y LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA INGENIERÍA DE SOFTWARE

Alexandre Bergel¹

RESUMEN

Los sistemas de software de gran tamaño son difíciles de construir y mantener. Este artículo describe la experiencia que ha tenido el laboratorio Intelligent Software Construction (ISCLab), de la Universidad de Chile, en relación a la producción y despliegue de aplicaciones críticas. En particular, este artículo se enfoca en aplicar técnicas de visualización e inteligencia artificial para ayudar a construir y mantener grandes softwares.

¹ Profesor del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Chile. Beauchef 851, of. 308, Piso 3, Edificio Norte 8370459, Santiago, Chile. <http://bergel.eu>

Dificultad de hacer software

“Los programas informáticos son las cosas más complejas que el ser humano produce” dijo Douglas Crockford, el creador del lenguaje de programación JavaScript. Las dificultades de diseñar y construir un software son bien conocidas por ambos desarrolladores y usuarios. Por ejemplo, es frecuente encontrar fallas en el funcionamiento de un sitio web o de enfrentar excesivo consumo de memoria en aplicaciones en dispositivos móviles. Estas malas experiencias que cada uno ve de forma casi cotidiana reflejan un hecho: la construcción de software puede ser el campo de ingeniería que el ser humano menos domina. El humano está mejor preparado para hacer edificios o barcos que hacer software.

Hay varias causas de la pobre calidad de los softwares. En general, un desarrollador de software escribe códigos usando herramientas muy similares a las que usa un escritor para escribir un documento textual, como un libro. Los ambientes de desarrollo de software se parecen mucho a Microsoft Word, solamente un poquito mejorado. Un desarrollador tiene una visión muy restringida del software, que es lo que muestra la ventana de este “Word”. Para asegurarse de una buena calidad del software, es importante ofrecer una visión global del software, además de que puede ser muy grande.

Las dificultades de producir softwares robustos son bien conocidas y la comunidad científica en ingeniería de software se esfuerza por mejorar técnicas y herramientas involucradas en el proceso de construcción de software. Nuestro esfuerzo se diferencia de la comunidad científica por enfocarse en el uso de técnicas de visualización y de inteligencia artificial.

Visualización de software e inteligencia artificial

La hipótesis en que se basa mi trabajo es que las herramientas que se usan para construir un software pueden ser mejoradas de forma significativa usando técnicas de visualización y de inteligencia artificial.

El grupo de investigación ISCLab fue establecido en 2018 con el objetivo de acompañar a los ingenieros en producción de software con técnicas de visualización y de inteligencia artificial para facilitar la construcción de software.

Los softwares están constituidos y caracterizados con muchos datos de diversos formatos. En particular, el código fuente define el software. Un software tiene la finalidad de ser ejecutado para gozar de sus funcionalidades. La ejecución de este software puede ser medida con el tiempo de ejecución de cada componente que constituye este software. El punto a tener presente en mente, es que un software se acompaña de muchos datos. Y manejar estos datos es complejo. Usamos técnicas de visualización para ver patrones en el código fuente y en la ejecución. A veces en los patrones se pueden identificar anomalías. Entonces usamos técnicas de inteligencia artificial para solucionar o caracterizar la anomalía.

Visualización

Un software puede ser muy grande. Por ejemplo, el software de vuelo del Suchai, el nanosatélite chileno producto de la FCFM. El tamaño completo del sistema de vuelo es 40.000 líneas de código. Es un sistema que se puede considerar como mediano de tamaño. Si se considera que un libro tiene aproximadamente 35 líneas en cada página, el sistema de vuelo del Suchai ocuparía en 1.142 páginas, lo que corresponde a dos veces el último libro de Harry Potter. Cada palabra y letra de este libro puede ser la fuente de una falla grave, que puede resultar en perder el satélite. Un software de este tamaño tiene que seguir una arquitectura bien definida y documentada. Pero, las herramientas de desarrollo de software realmente usadas no permiten contrastar la arquitectura deseada del software con la arquitectura

actualmente implementada. Y no tener clara cuál es la arquitectura de un software es tan grave como no saber cómo un edificio respondería a un sismo fuerte: cualquier evento no previsto puede tener consecuencias catastróficas.

Hemos desarrollado varias visualizaciones que permiten de ver las partes internas de un software. Se puede apreciar la pertinencia de visualizar un software con la metáfora siguiente: si a uno le duele una parte del cuerpo, un médico recomendaría sacar radiografías para asegurarse de los síntomas y de un tratamiento adecuado. Estamos literalmente aplicando esta metáfora a los sistemas informáticos.

Hemos desarrollados varias visualizaciones que permiten ayudar a los desarrolladores a detectar anomalías en la arquitectura de un software. Un software grande, tal como un edificio, requiere una arquitectura definida, clara y no ambigua. Lamentablemente, verificar si una arquitectura de software esta conforme a lo planificado, en papel, es una tarea sumamente difícil, pero indispensable. Nuestra visualización permite significativamente facilitar esta tarea.

Este primer ejemplo – Figura 1, describe relaciones entre componentes dentro un gran software industrial. Cada punto en la circunferencia indica un componente. Un arco indica una dependencia entre dos componentes. Claramente, la visualización muestra grupos de componentes que tienen mucha más dependencia que otros. Esto puede indicar problemas en caso que haya que modificar unos de estos componentes que tienen muchas dependencias.

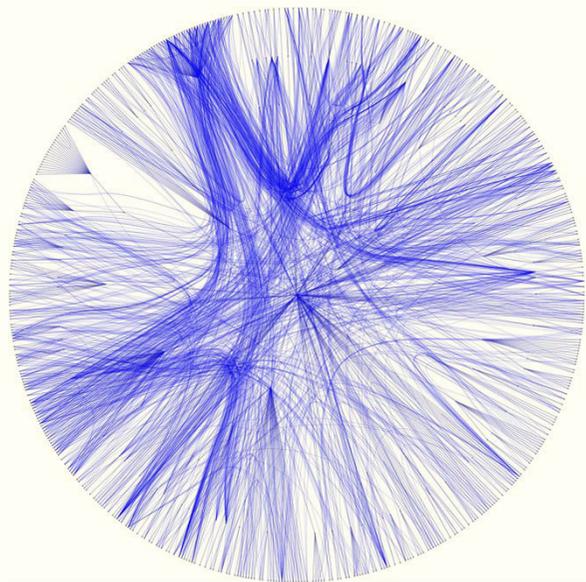


Figura 1.

Este segundo ejemplo – Figura 2, ilustra el software que constituye el sistema de vuelo del Suchai. Cada caja representa un modulo del software, y los arcos representan dependencias.

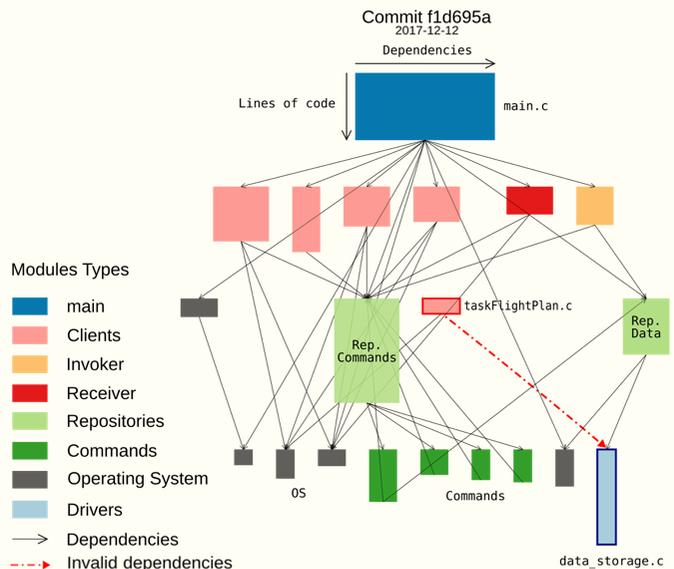


Figura 2.

Esta imagen proviene del artículo titulado: “*An Architecture-Tracking Approach to Evaluate a Modular and Extensible Flight Software for CubeSat Nanosatellites*”, escrito por Carlos E. González, Camilo J. Rojas, Alexandre Bergel, y Marcos A. Díaz, en el IEEE Access (<https://ieeexplore.ieee.org/document/8758807>)

Algoritmo genético

Desarrollar un software es una actividad sumamente compleja. Frecuentemente, un ingeniero tiene que tomar decisiones que son difíciles. Por ejemplo, testear requiere un conocimiento bien profundo del software en estudio. Por ejemplo, un software que tiene como objetivo validar un RUT, o sea, un pequeño programa que indica si un RUT es válido o no. Producir un test que sea completo (que no excluye casos probables, pero no previsto por el desarrollador, como ingresar un RUT incompleto como input) es imposible de verificar en general. Para enfrentar las dificultades de testear un software, usamos técnicas de algoritmos genéticos.

Un algoritmo genético es una metáfora computacional de la evolución biológica de especies. Considérese una población de conejos que viven en un ecosistema con depredadores rápidos (p.e., lobos). Los conejos más rápidos tienen más probabilidades de sobrevivir que los conejos lentos. Al vivir más tiempo, los conejos rápidos tienen más probabilidades de reproducirse. Es entonces muy probable que la nueva generación de conejos tendrá la habilidad de escapar rápidamente del lobo.

El algoritmo opera de una forma muy similar al ejemplo de los conejos. El algoritmo crea una población de individuos definidos de forma aleatoria. Después, el algoritmo selecciona los individuos más “fuertes” o “cerca” de la solución del problema por resolver. Después crea una nueva generación en la población, con la aplicación de las operaciones en genéticas con la combinación de las informaciones genéticas de cada individuo.

Al aplicar el testing, un individuo puede representar una secuencia de input que se da al programa a testear. Esta secuencia puede ser de valores cualesquiera, elegidos de forma aleatoria. Un algoritmo genético puede entregar al validador cualquier secuencia de caracteres. Si obtenemos un crash del validador con una entrada generada aleatoriamente, eso significa que hemos encontrado una falla grave en el validador.

El uso de algoritmos genéticos ayuda a generar tests que permiten identificar fallas que serían difíciles de encontrar por una persona debido de los sesgos que tenemos. Por ejemplo, entregar un nombre en vez de un RUT a un validador de RUT no corresponde a un escenario que resalte al momento de testear. Uno tendrá tendencia de entregar valores que se parecen a un RUT (p.e., números separador por un punto). Pero un algoritmo genético buscaría el input del validador que provoca el crash.

Chatbot como apoyo

El desarrollo de un software requiere colaboraciones y discusiones entre personas. Por ejemplo, el desarrollo de un juego de video en 3D. Una situación clásica para un desarrollador es de usar una librería existente para gestionar el dibujo de la 3D. Usar una librería existente dedicada permite al desarrollador de enfocarse en los aspectos que define la parte lógica del juego. Una librería 3D, como Unreal o Unity, es compleja de usar. Es muy probable que el desarrollador tenga que buscar documentación en internet y quizás intervenir en un chat para obtener respuestas inmediatamente. Hemos desarrollado un chat que responde a preguntas sencillas cómo: “Who is expert in Unity?”. Nuestro chat entrega la lista de los expertos dando informaciones contenidas en repositorios de programas, como GitHub.

Trabajo futuro

Es muy probable que en el futuro los softwares sean más grandes que los de ahora. Siempre fue así y no hay indicador en la industria de desarrollo de software que esta dinámica vaya a cambiar. Esta tendencia acentuará la necesidad de medir la calidad de software y de usar un apoyo artificial de parte de los desarrolladores de softwares.

Desde un punto de vista académico, el laboratorio ISCLab ha desarrollado técnicas de visualización de inteligencia artificial. Ahora hemos entrado en una fase de aplicar nuestros resultados a situaciones reales y comprobar si los beneficios de nuestras técnicas, identificadas de forma teórica, se comprueban con softwares grandes y complejos. Estamos aplicando nuestras técnicas a diferentes sistemas, como el sistema de vuelo del Suchai y el comportamiento de robots.

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GLACIARES DE LA CUENCA DEL RÍO OLIVARES, CHILE

Javier Cepeda ¹ y Ximena Vargas ²

Resumen

Este trabajo examina los caudales históricos y futuros de la cuenca del río Olivares, cercana a la ciudad de Santiago, bajo un escenario de cambio climático severo. Para ello, se calibra el modelo hidrológico distribuido en base física DHSVM, con un módulo de comportamiento glacial, considerando la evolución del caudal y del manto nival para el periodo 2001-2012 en una escala de tiempo diario. Para fortalecer el proceso de calibración, se realizan comparaciones entre las variaciones modeladas del área del glaciar y las extraídas de imágenes LANDSAT y MODIS, proporcionando información adicional sobre los procesos físicos del glaciar. Las proyecciones de cambio climático se obtienen de cinco modelos de circulación global (GCM) en el escenario RCP8.5. Se analizan los cambios en el área del glaciar, el volumen y la contribución de flujo del glaciar a la escorrentía de la cuenca, comparando dos lapsos de tiempo futuros con un periodo de referencia (1985-2004). Los resultados proyectan una disminución promedio del 13% en la escorrentía media anual para el futuro cercano (2015-2044) y del 36% para el futuro lejano (2045-2074), mientras que la contribución de los glaciares a la escorrentía disminuiría en un 26% y 78% para los mismos periodos, respectivamente.

¹ Ingeniero Civil, M. Sc. Universidad de Chile. Hidrólogo en MAS Recursos Naturales.

² Ingeniera Civil de la Universidad de Chile. Profesora Asociada. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

1. INTRODUCCIÓN

Los glaciares actúan como grandes depósitos de agua en estado sólido, almacenando cerca del 75% del agua dulce del mundo (Reinwarth et al., 1972). A nivel mundial, los glaciares presentan un proceso de retroceso continuo (Gardner et al., 2013) que se ha documentado a lo largo del territorio central de Chile (Pellicciotti et al., 2013; Rivera et al., 2000; 2002), con una disminución promedio observada del área glacial de aproximadamente 12,8% entre 1945-1996. En particular, dos de los glaciares más importantes del área de estudio, Juncal Sur y Olivares Gamma, han disminuido sus áreas en un 10,9% y un 8,2% respectivamente (Rivera et al., 2002).

En el centro de Chile, la ablación de los glaciares tiene lugar principalmente entre diciembre y febrero (Ohlanders et al., 2013; Ragettli y Pellicciotti, 2012). Por ello, los caudales de época seca serán los más afectados por los cambios climáticos, lo que podría conducir a alteraciones del ecosistema y la economía local, dados los usos agrícolas, hidroeléctricos y sanitarios que tiene el agua.

Se han registrado tendencias crecientes de temperatura del aire en la zona central de Chile durante las temporadas de verano e invierno en el período 1974-2004 (estadístico de tendencia $z = 2,74$ y $2,94$ respectivamente, Pellicciotti et al., 2007), cambios que afectan directamente los procesos de acumulación y derretimiento de la nieve y los glaciares. Debido a esto, se estima una elevación de la isoterma cero de 127 metros en el último cuarto del siglo XX (Carrasco et al., 2005).

El balance de masa y el retroceso de los glaciares están directamente relacionados con la escorrentía. Su contribución representa un elemento clave para el caudal medio anual de una cuenca y es reconocido su aporte durante la estación seca. En algunas de las cuencas hidrográficas centrales de Chile, se ha estimado (Castillo, 2015) que la contribución glacial a la escorrentía puede representar hasta el 81% del caudal total en un año muy seco durante la temporada de verano, el 44% en un año normal y el 21% en un año húmedo, dependiendo de la elevación y fracción de la cuenca cubierta por glaciares. Debido a la tendencia a

la disminución del volumen de hielo, en las cuencas de todo el mundo, se ha observado un aumento de los caudales medios anuales de las corrientes; sin embargo, a largo plazo, esta contribución de los glaciares tendería a disminuir (Huss et al., 2008; Braun et al., 2000).

Durante el último medio siglo, el clima a escala mundial ha evidenciado un proceso de calentamiento debido al aumento de los gases de efecto invernadero atmosféricos. Por ello, desde principios del siglo XXI, se han realizado variados esfuerzos para caracterizar el “Cambio Climático”, utilizando Modelos de Circulación Global (GCM), compilados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). En el Cuarto Informe sobre Cambio Climático (AR4, 2007), el IPCC definió diferentes escenarios en base a distintas proyecciones de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, considerando diferentes patrones de desarrollo demográfico, avances tecnológicos y crecimiento económico, que finalmente llevaron a la definición de cuatro proyecciones atmosféricas conocidas como escenarios SRES (Nakicenovic et al., 2000). Posteriormente, en el marco del Quinto Informe de Cambio Climático (AR5, 2013), se desarrollaron nuevos escenarios, conocidos como Trayectorias Representativas de Concentración (RCP), cuya definición viene dada por la evolución y valor final de los forzamientos radiativos al 2100. Los Modelos de Circulación Global evolucionaron posteriormente a Modelos del Sistema Terrestre, considerando ahora la vegetación interactiva, el ciclo del carbono y una mejor representación de la química atmosférica.

Este artículo identifica y presenta una comparación entre los resultados de las contribuciones glaciales históricas (1985/86 - 2004/05) y proyectadas (2015 / 16-2074 / 75) a la escorrentía total en la cuenca del río Olivares bajo el escenario de cambio climático RCP8.5. Para ello, se representa el área de estudio mediante el modelo hidrológico Distributed Hydrology Soil Vegetation Model (DHSVM, Wigmosta et al., 1994), incorporando un módulo glacial (Naz et al., 2014) que permite identificar los aportes de los glaciares.

2. ANTECEDENTES

Se describe la zona de estudio y se sintetiza la implementación del modelo DHSVM, indicando los antecedentes considerados para su calibración en el período histórico y los requeridos para efectuar las proyecciones futuras.

2.1 Área de estudio

El análisis se realiza en la cuenca del río Olivares antes de la junta con el río Colorado (río Olivares en adelante) que es una subcuenca del río Maipo ubicada, aproximadamente, a 50 km de la ciudad de Santiago, entre las latitudes 33°S, 70,1°W y 33,5°S, 70,3°W (Figura 1).

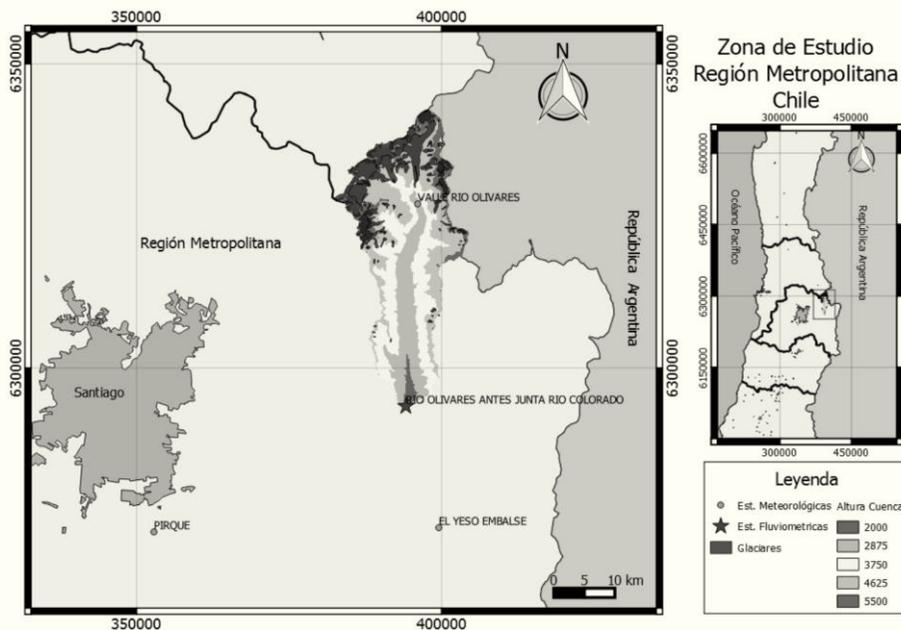


Figura 1: Cuenca del río Olivares. Fuente: Cepeda (2017)

En las cuencas andinas de Chile central, el año hidrológico comienza en abril, presentando un período de lluvias de abril a septiembre y un período de deshielo de octubre a marzo. El clima se caracteriza por una alta variabilidad interanual en las precipitaciones (Aceituno et al., 1993; Montecinos y Aceituno, 2003; Quintana, 2004) con procesos de lluvias y nevadas que se concentran de junio a agosto, durante la temporada de invierno. Además, las precipitaciones están fuertemente condicionadas por la orografía local. Para áreas ubicadas por debajo de los 2000 msnm se observa un clima mediterráneo, caracterizado por veranos secos

con temperaturas máximas que oscilan entre 30 y 35°C e inviernos con temperaturas mínimas que oscilan entre 5 y -5°C y escasas precipitaciones sólidas. En elevaciones sobre 2000 msnm la precipitación ocurre, generalmente, en forma de nieve durante el invierno, principalmente entre junio y agosto (Garreaud, 2009). Dadas las características climatológicas y geomorfológicas de la cuenca en estudio, se reconoce como de un régimen hidrológico nivo-glacial, registrándose los máximos caudales medios mensuales en el período primavera-verano.

La cuenca tiene un área de 543 km², con elevaciones entre 1528 y 6024 msnm con una importante presencia de glaciares. Según el Catastro Nacional de Glaciares (DGA, 2012) existen 80 glaciares descubiertos dentro de la cuenca, siendo los más importantes Juncal Sur, Olivares Alfa, Beta y Gamma, con áreas de 25,7, 11,2, 11,5 y 12,7 km², respectivamente, que representan el 67% de la superficie glacial total presente en la cuenca

en 1986 (91,2 km²). Estos glaciares se encuentran en altitudes entre 3500 a 6000 msnm, con un área glacial de mayor concentración en las proximidades de los 4500 msnm (Figura 2). En base al NDSI obtenido a partir del análisis de bandas de LANDSAT, la cuenca ha evidenciado importantes retrocesos glaciares al año 2015, registrándose el mayor retroceso en altitudes entre los 4.000 y los 5.000 msnm (Figura 2).

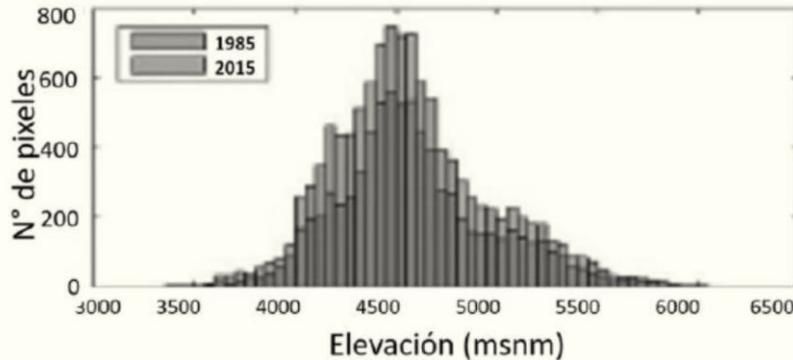


Figura 2: Distribución de elevación de pixeles que contienen glaciares en la cuenca del río Olivares. Fuente: Adaptado de Cepeda (2017).

2.2 El modelo DHSVM

Como se aprecia en la Figura 3, DHSVM (Wigmosta et al., 1994) es un modelo hidrológico distribuido de base física que representa con alta resolución espacial los efectos del clima local, la topografía, el suelo y vegetación tanto en los procesos de acumulación y derretimiento de nieve como en los procesos de escorrentía superficial y sub superficial en una cuenca. La evaporación se calcula mediante el método de Penman-Monteith y se representa en dos capas; los procesos de acumulación y deshielo de nieve consideran también dos capas, en las que se realiza el balance de masa y energía, incorporando directamente la interacción con la vegetación y la topografía; para la humedad del suelo se utiliza un modelo multicapa de suelos saturados y las forzantes meteorológicas, la

vegetación de la cubierta y el tipo de suelo para cada pixel. El modelo se ha aplicado principalmente en cuencas montañosas (Bowling et al., 2000, Storey et al., 1998, Thye et al., 2004) y ha sido capaz de representar adecuadamente tanto los procesos de escorrentía como de acumulación-ablación de nieve. En el año 2014, se acopla el módulo de glaciación (Glacier Dynamic Model, GDM, Naz et al., 2014), que establece una interacción entre la nieve y el glaciar. El proceso de fusión del glaciar se activa una vez que la capa de nieve en estas áreas ya se ha derretido; además, se permite que la masa de nieve se transforme en parte del glaciar una vez que alcanza una cierta densidad crítica. La incorporación de este módulo requiere proporcionar información sobre la cobertura del área, el espesor, el balance de masa y la topografía basal de cada pixel que representa las áreas glaciales.

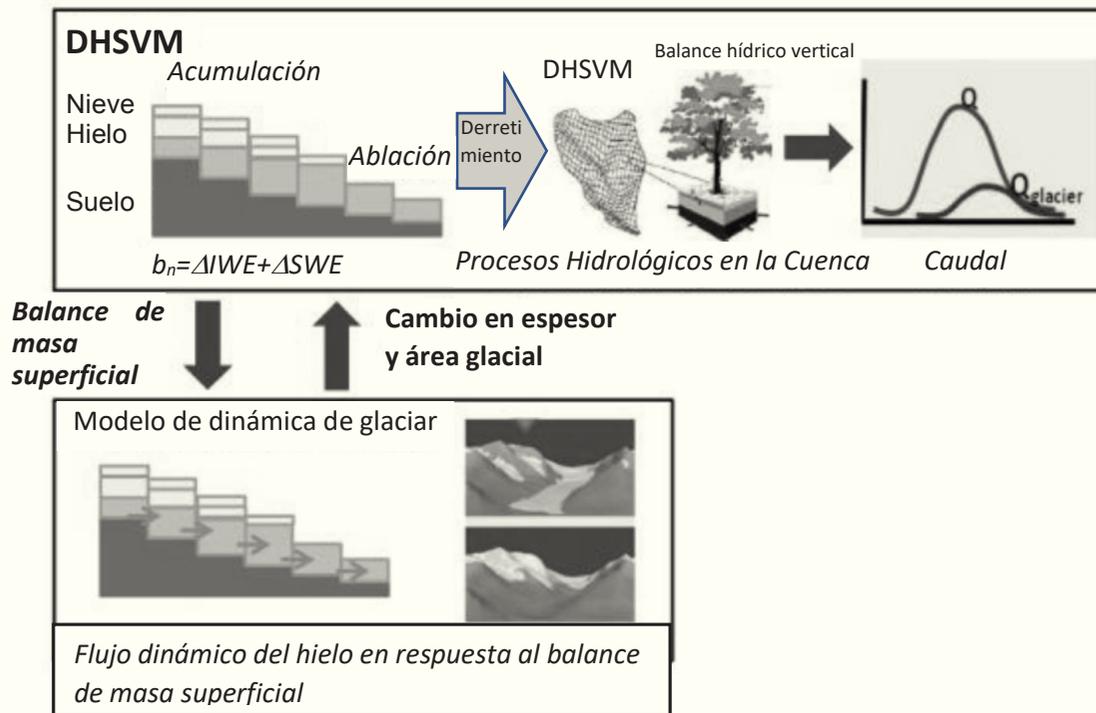


Figura 3: Esquema del módulo de glaciación (GDM) y su interacción con el modelo DHSVM. ΔIWE : variación de equivalente en agua del hielo; ΔSWE : variación de equivalente en agua de la nieve. Fuente: adaptado de Nans et al. (2014)

2.3 Variables de entrada

Los datos meteorológicos necesarios para ejecutar el modelo son la precipitación, temperatura, radiación incidente de ondas corta y larga, humedad relativa y velocidad del viento. Estas variables se distribuyen utilizando la tasa de decaimiento basada en la altura determinada, utilizando información de las estaciones meteorológicas operadas por la DGA, modelos climatológicos y métodos de teledetección. La precipitación y temperatura se estiman usando como referencia la estación meteorológica Pirque, situada a 659 msnm; El gradiente orográfico de la precipitación se calcula en base a la reconstrucción de equivalente de agua de la nieve desarrollada por Cornwell et al (2016), mientras que, para la temperatura, la tasa de decaimiento se estimó utilizando datos de temperatura del suelo de los productos MOD11A1 y MYD11A1. Estos valores se correlacionaron con temperatura máxima y mínima diaria a 2 metros registrados en la estación Embalse el Yeso. La velocidad del viento se obtuvo del explorador de viento desarrollado por el

Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (<http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>) el que se basa en simulaciones realizadas con el modelo WRF (Investigación y predicción meteorológica). La radiación incidente de onda corta se calcula mediante ecuaciones empíricas basadas en latitud y día juliano (Lee, 1963; Frank y Lee, 1966) y se corrige por nubosidad utilizando información de cobertura de nubes estimada utilizando los productos MOD10A1 y MYD10A1. La radiación incidente de onda larga se estima mediante la ecuación de Stefan-Boltzmann.

La cobertura de los glaciares se obtuvo mediante la relación de bandas con las imágenes LANDSAT (ver ecuación 1), corregida por ajustes topográficos y atmosféricos (Meyer et al., 1993; Song et al., 2001) para obtener el índice NDSI. Se considera que los píxeles que presentan un valor $NDSI > 0,4$ tienen nieve.

$$NDSI_{Landsat\ 5} = \frac{B_2 - B_5}{B_2 + B_5} \quad NDSI_{Landsat\ 8} = \frac{B_3 - B_6}{B_3 + B_6} \quad (1)$$

Dado que no se dispone de mediciones directas de las variaciones de profundidad de los glaciares, se utilizan las mediciones de imágenes de detección y medición de imágenes por láser (LIDAR) de otros glaciares del centro de Chile cercanos al área de estudio para obtener el espesor de pérdida del glaciar y el balance de masa

(Juncal Norte, La Paloma, Monos de Agua, Cerro El Plomo, Del Rincón, Yeso 1 y 2). Estos estudios, desarrollados en 2012 y 2015 por DGA, brindan información base que permite establecer una correlación entre la altitud del DEM y el balance de masa glacial (ver Figura 4).

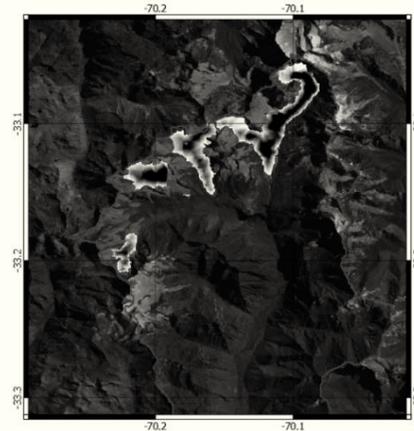
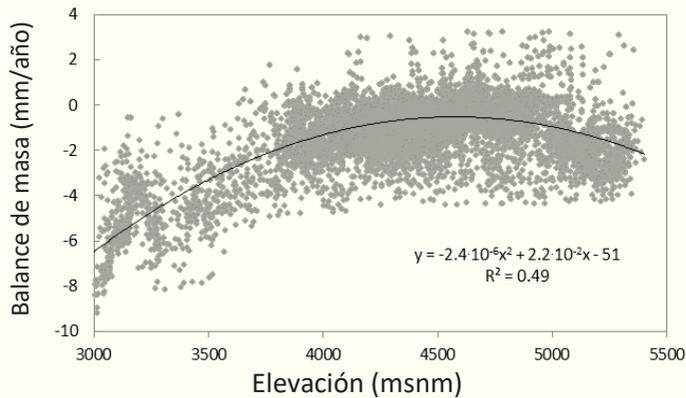


Figura 4: Relación entre balance de masa glacial y altitud (izquierda); glaciares y zonas con información de radio-eco-sondeos (bordes blancos) en la cuenca del río Olivares (derecha). Fuente: Cepeda (2017)

El espesor de los glaciares para cada pixel se obtuvo con base en (1) mediciones del espesor de los glaciares mediante radio-eco-sondajes en algunos sectores de los principales glaciares de la cuenca (Juncal Sur, Olivares Alfa, Beta y Gamma) durante el año 2012, obteniendo un área total de 32,2 km², con espesores que oscilan

entre 0,2 y 255 metros (Figura 4), y (2) estimaciones basadas en el modelo desarrollado por Clarke et al. (2012) para los píxeles con presencia de glaciares que no tienen información de radio-eco-sondajes. Esto dio lugar a una estimación volumen total glacial de 3,4 km³ en la cuenca para el año 2012.

2.4 Proceso de modelación

La modelación se llevó a cabo a un paso de tiempo diario, con resolución espacial de 90 x 90 m por pixel. El año hidrológico 2001/02 se utilizó como período de calentamiento, mientras que los períodos 2002/03-2007/08 y 2008/09-2011/12 se utilizaron para los procesos de calibración y validación, respectivamente.

El caudal simulado se compara con los registros de la estación fluviométrica del río Olivares, corregidos para representar el régimen natural; la cubierta de nieve modelada se contrasta con el resultado del producto

MODIS FSCA, mientras el índice NDSI se usó para validar el área glacial simulada.

El desempeño del modelo se evaluó utilizando el criterio de eficiencia de Nash-Sutcliffe, NSE, (Nash y Sutcliffe, 1970) donde NSE = 1 representa un ajuste perfecto mientras que los valores negativos implican que el promedio es un mejor estimador que el modelo analizado. Se usó también el criterio de eficiencia de Kling-Gupta, KGE (Gupta et al., 2009).

2.5 Cambio climático

Para representar con precisión la climatología de la región utilizando la información proporcionada por los GCM, es necesario realizar un proceso de escalamiento, que puede ser de naturaleza dinámica o estadística. Para este trabajo, se seleccionó el escalamiento estadístico, metodología que ha sido utilizada con fines hidrológicos por varios autores (Li et al., 2010, Perkins, 2011, Terink et al. Al. 2002). Para evitar obtener valores sesgados, el escalamiento se realiza en dos etapas: escalamiento espacial, basado en el criterio de inverso de la distancia para determinar el valor de la variable en la ubicación de la estación base, Pirque, y escalamiento temporal (o corrección de BIAS o sesgo), comparando las curvas de duración mensuales de los valores diarios de las variables, basados en el registro

histórico de la estación (1970-2005) y de los resultados del proceso de escalamiento espacial del GCM. Los datos de los GCM se obtuvieron de la información disponible en la plataforma NEX de NASA (<https://nex.nasa.gov/nex/>). En este trabajo el proceso se realiza solo en los cinco modelos que mejor representan la climatología del área de estudio (Figura 5) luego de realizar el escalamiento espacial. Las funciones de transferencia mensuales, obtenidas de la corrección de sesgo realizada en el período histórico, se consideraron válidas para el futuro permitiendo obtener proyecciones de precipitación y temperatura de los diferentes GCM seleccionados (BNU-ESM, MIROC-ESM-CHEM, NorESM1-M, Bcc-csm1-1 e inmc4) en la Estación base.

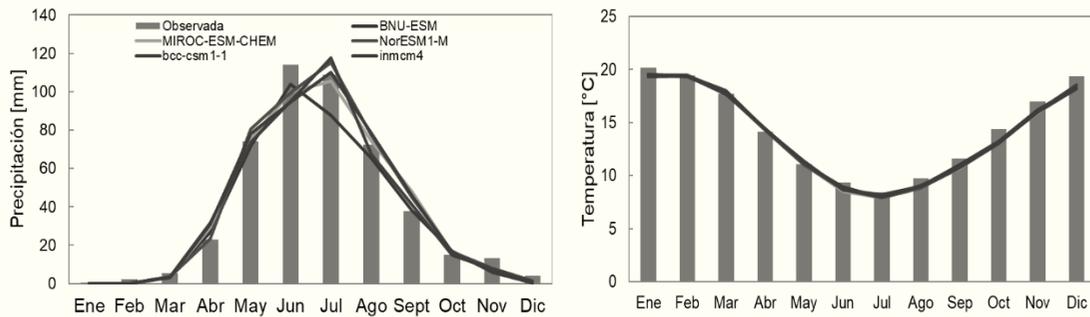


Figura 5: Climatología observada y las simuladas por los GCM seleccionados en la estación base, Pirque, antes de la corrección de sesgo. Fuente: Cepeda (2017)

La Figura 6 señala que para el escenario RCP8.5, los modelos seleccionados proyectan, en la estación Pirque, una disminución en la media anual de la precipitación con variaciones de -33,6 mm para el futuro cercano y de -93,2 mm para el lejano, equivalentes a 7 y 19%, respectivamente.

Para el futuro cercano se aprecia un aumento de 1,3°C de la temperatura media anual y de 2,9°C para el futuro lejano. También se observa que el modelo MIROC proyecta un aumento más significativo de la temperatura a partir del año 2035.

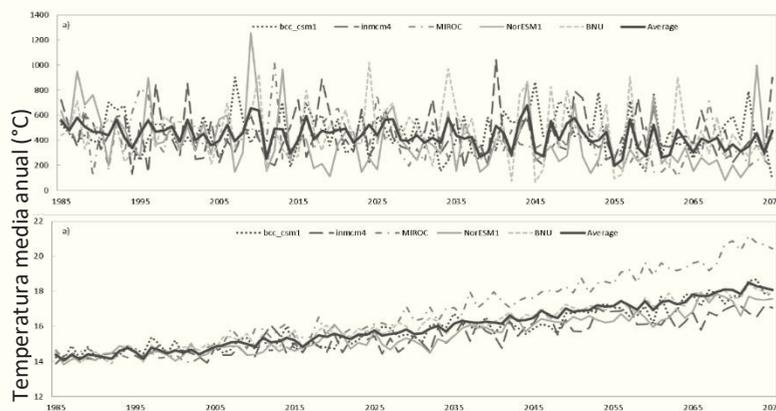


Figura 6: Series de precipitación anual y temperatura media anual simuladas en el período histórico y proyectadas en el futuro en la estación base, Pirque. Fuente: Cepeda (2017).

Para ejecutar el DHSVM con su módulo glaciario en un escenario de cambio climático, se debe proporcionar un conjunto de condiciones iniciales de los glaciares. Para ello, se obtuvo el área glacial inicial mediante análisis de imágenes LANDSAT y se calibró el volumen glacial inicial, ajustando un valor que fuera consistente con el volumen glacial del año 2012 y con la relación entre el

balance de masa del glaciar y la altitud (Figura 3), incorporando el espesor perdido por el glaciar hasta el año de inicio. Dada la incertidumbre asociada a la obtención del volumen del glaciar, se realizó un análisis de sensibilidad de los resultados considerando una distribución homogénea del espesor asociado a la diferencia de volumen obtenida.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Modelación de la Escorrentía en Período Histórico

Con base en el proceso de modelado realizado, fue posible representar en la cuenca del río Olivares tanto la dinámica de la escorrentía, comparando los caudales observados y simulados, como los procesos de acumulación-deshielo de nieve, comparando la evolución del manto de nieve, tanto para el período de calibración (abril 2002- marzo 2008) como de validación (abril 2008- marzo 2012). La serie de tiempo diaria de estas variables que se presenta en la Figura 7, muestra que el modelo reproduce correctamente tanto el flujo base como los flujos asociados con los procesos

de deshielo. En la Tabla 1 se presentan los valores de los criterios de eficiencia ($\geq 0,64$), que señalan un buen desempeño (Moriasi et al., 2007) de la modelación tanto para el caudal como para el manto de nieve, especialmente durante el período de calibración. Es interesante notar que en el período de calibración-validación, el aporte glacial (Q_g) al caudal total de la cuenca (Q_T) es, en promedio, de 32% y que se obtuvo una disminución promedio de 0,91 m/año, 0,63 km²/año y 0,1 km³/año en espesor, área y volumen glacial, respectivamente.

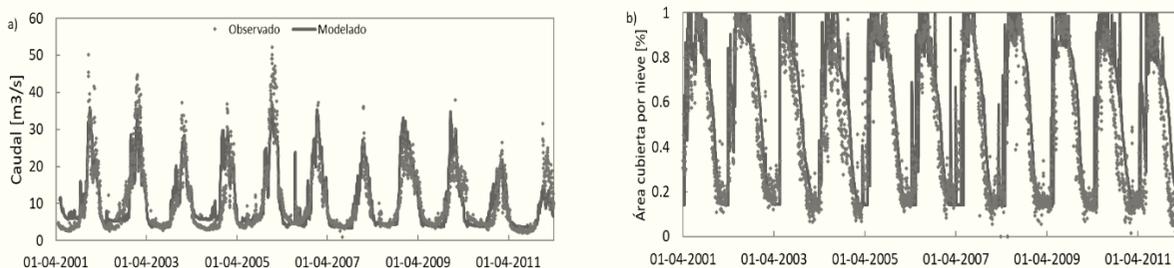


Figura 7: Escorrentía y área nival simulada por el modelo DHSVM en el período histórico. Fuente: Cepeda (2017)

Tabla 1: Criterios de eficiencia en la modelación de la escorrentía y cobertura nival en los períodos de calibración y validación. Fuente: Cepeda (2017)

Variable	Período	NS()	NS(ln())	KGE()
Escorrentía	Calibración	0,77	0,76	0,81
	Validación	0,64	0,73	0,80
Área cubierta de nieve	Calibración	0,77	0,72	0,87
	Validación	0,71	0,66	0,74

3.2 Cambio climático

Usando los parámetros obtenidos en el período de calibración, se operó el modelo DHSVM considerando las forzantes meteorológicas simuladas en el período de línea base (abril 1985 a marzo 2005) y proyectadas para el futuro (hasta marzo 2075) por cada uno de los GCM. Los resultados permitieron analizar las variaciones estacionales y anuales del caudal total y glacial, entre la línea base (abril 1985 – marzo 2005) y la ventana de tiempo considerada como futuro cercano (abril 2015 - marzo 2045) y futuro lejano (abril 2045 – marzo 2075).

Los resultados estiman un flujo promedio anual en el período histórico de $11,2 \text{ m}^3/\text{s}$ y proyectan que este disminuirá a $9,8 \text{ m}^3/\text{s}$ en un futuro próximo y a $7,2 \text{ m}^3/\text{s}$ para el futuro lejano, lo que representa una disminución promedio de 13 y 36% respecto a la línea base, respectivamente (Figura 8 a); también, se proyectan cambios en la curva de variación estacional, con flujos crecientes entre junio y noviembre y menores entre diciembre a abril, con relación al período de línea base. Este cambio de flujo es particularmente evidente en el

futuro lejano (Figura 8 b y c). El aumento de los caudales medios mensuales se atribuye, principalmente, al aumento proyectado de temperatura, que influye directamente en el aumento del área pluvial aportante al elevarse la altitud de la isoterma cero, mientras que la variación en el segundo período se debería a la disminución del equivalente en agua de nieve (SWE) y las modificaciones en la contribución glacial.

En cuanto al caudal que aportan los glaciares, se estima que el caudal medio anual de estos en el período histórico es de $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los valores proyectados son de $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ para el futuro cercano y de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ para el futuro lejano; esto representa una disminución del 26% y 78% en comparación con el período de referencia, respectivamente (Figura 9a). Los resultados proyectan que al final del período de estudio los glaciares habrán prácticamente desaparecido quedando solo un promedio de $1,2 \text{ km}^2$ de área glacial y $0,036 \text{ km}^3$ de volumen glacial remanente.

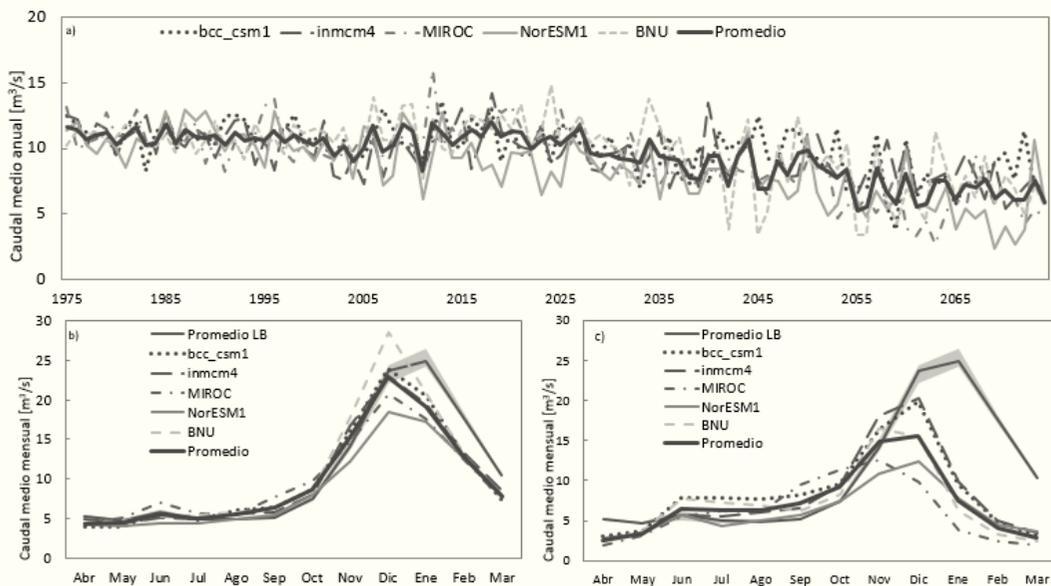


Figura 8: Proyecciones en la cuenca del río Olivares bajo el escenario RCP8.5 para (a) caudal medio anual; (b) curva de variación estacional promedio en el futuro cercano y (c) curva de variación estacional promedio en el futuro lejano. Fuente: Cepeda (2017)

Los cambios en la curva de variación estacional pueden explicarse por el incremento general de temperatura que conduce a un proceso de fusión más temprano en la temporada. Debido a esto, se espera que el mes de máxima velocidad de fusión ocurra antes en comparación con el período de referencia. También se proyecta una disminución en el caudal de todos los meses (Figura 9 a y b), que es más evidente en los meses comprendidos entre enero y abril, principalmente por el retroceso de los glaciares.

Entre mayo y octubre, donde la contribución del flujo glacial proviene de los glaciares en altitudes más bajas, la disminución de la escorrentía se debe a que se derritieron por completo a causa de las temperaturas más altas, mientras que, en el período entre enero y abril, cuando todos los glaciares de la cuenca

contribuyen, la disminución se debe al retroceso tanto en el área glacial como en el volumen glacial.

Al analizar los resultados bajo la hipótesis de distribución homogénea del espesor del glaciar, la disminución promedio es la misma que al considerar el espesor dado por el balance de masa para ambos flujos, tanto para el futuro cercano como para el lejano futuro. Sin embargo, existen diferencias en el caudal medio mensual, aunque estos valores tienden a ser cercanos al 1% en el caso del caudal glacial, y cercanos al 0% en el caso del caudal total, ya que en este último caso la única diferencia respecto al modelo anterior es el flujo glacial. Lo anterior implica que los resultados no dependen de la condición inicial de la distribución del espesor del glaciar.

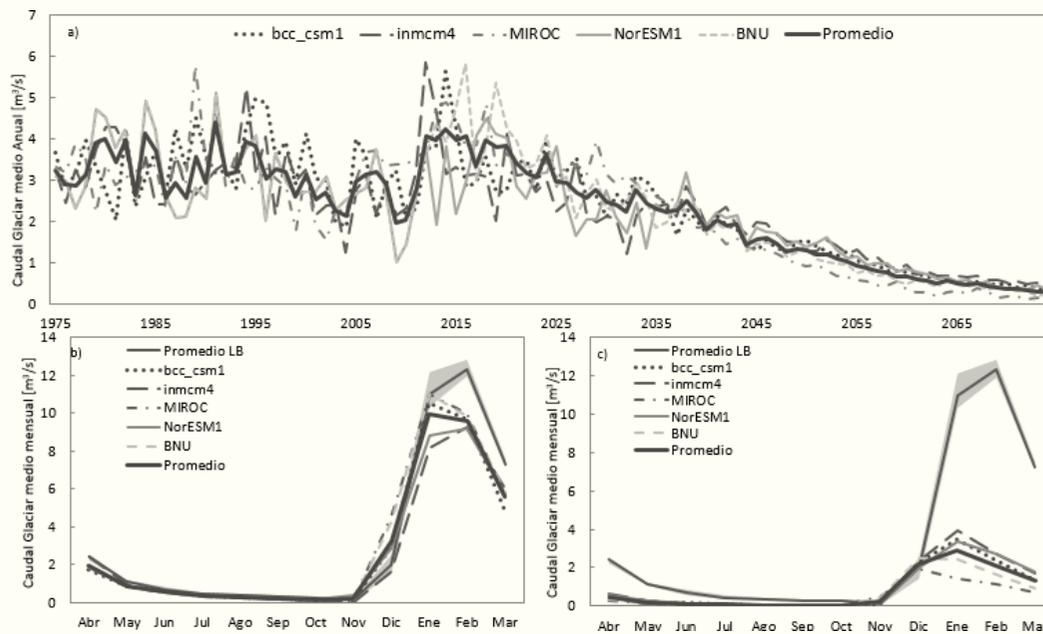


Figura 9: Proyecciones en la cuenca del río Olivares bajo el escenario RCP8.5 para (a) caudal glacial medio anual; (b) curva de variación estacional promedio en el futuro cercano y (c) curva de variación estacional promedio en el futuro lejano. Fuente: Cepeda (2017)

4. CONCLUSIONES

Bajo el escenario RCP 8.5, en la estación Pirque los GCMs seleccionados proyectan incrementos de temperatura media anual de 1,3°C y 2,9°C y una disminución de precipitación anual promedio de 33,6 mm y 93,2 mm para el futuro cercano (2015/16-2044/45) y lejano (2045/46 - 2074/75), respectivamente. En el período histórico (1985/86 - 2004/05) la contribución media de los glaciares a la escorrentía es de 3,2 m³/s, lo que representa el 30% del caudal medio anual promedio.

No hay diferencias significativas en los resultados cuando se compara el resultado de modelar la profundidad de los glaciares como relación entre la masa glacial y la altitud, o con una distribución homogénea.

En el futuro cercano, el flujo medio anual se reduciría, en promedio, un 13%, debido a una reducción de 7% en la precipitación y a la disminución promedio de la contribución glacial que cae un 26%. Por otra parte, en el futuro lejano, el caudal medio anual disminuiría en promedio en 36%, debido a una baja tanto de la precipitación (19%) como de la contribución glacial (78%). Las diferencias entre las disminuciones en el caudal medio anual total proyectadas a base de los modelos climáticos no es significativa (1%) en los dos periodos futuros en estudio; igualmente, el aporte de los glaciares presenta diferencias del 2% y 4% para los periodos futuro cercano y lejano, respectivamente.

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que las cuencas en las que hay presencia de glaciares se verán más afectadas por el cambio climático que las que no los presentan.

REFERENCIAS

- Aceituno, P., Fuenzalida, H., Rosenblüth, B., (1993). Climate along the extratropical west coast of South America. In: Mooney, H.A., Fuentes, E.R., Kronberg, B.I. (Eds.), *Earth System Responses to Global Change: Contrast between North and South America*. Academic Press, New York, pp. 61–69.
- Bowling, L. C., Storck, P., and Lettenmaier, D. P., (2000), Hydrologic effects of logging in western Washington, United States: *Water Resour. Res.*, v. 36, no. 11, p. 3223-3240.
- Braun L, Weber M, Schulz M. (2000). Consequences of climate change for runoff from Alpine regions. *Annals of Glaciology* 31(1): 19–25.
- Carrasco J, Casassa G, Quintana J. (2005). Changes of the 0 isotherm and the equilibrium line in altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques* 50(6): 933–948.
- Castillo, Y. (2015). Caracterización de la hidrología glacial de la cuenca del río Maipo mediante la implementación de un modelo glacio-hidroológico semi-distribuido físicamente basado.
- Clarke, G. K., Anslow, F. S., Jarosch, A. H., Radic, V., Menounos, B., Bolch, T. (2012), and Berthier, E.: Ice volume and subglacial topography for western Canadian glaciers from mass balance fields, thinning rates, and a bed stress model, *J. Climate*, 26, 4282–4303, doi:10.1175/JCLI-D-12-00513.1.
- Cepeda J. (2017). Análisis de los caudales nivoglaciares históricos y proyectados en la cuenca del río Olivares: comparación entre el modelo DHSVM y WEAP. Tesis para optar al grado de Magíster en Recursos y Medio Ambiente Hídrico. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Cornwell, E., Molotch N.P. and J. McPhee. (2016), Spatio-temporal variability of snow water equivalent in the extra-tropical Andes Cordillera from distributed energy balance modeling and remotely sensed snow cover, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 411–430, 2016, doi:10.5194/hess-20-411-2016.

- Frank, E. C. and Lee, R. (1966). Potential solar beam irradiation on slopes: tables for 30° to 50° latitude, Res. Paper RM-18. Rocky Mtn. For. Range Exp. Sta.: US Dept. Agric., Forest Service.
- Gardner, A. S., Moholdt, G., Cogley, J. G., Wouters, B., Arendt, A. A., Wahr, J., Berthier, E., Hock, R., Pfeffer, W. T., Kaser, G., Ligtenberg, S. R. M., Bolch, T., Sharp, M. J., Hagen, J. O., van den Broeke, M. R., and Paul, F., (2013): A reconciled estimate of glacier contributions to sea level rise: 2003 to 2009, *Science*, 340, 852–857, doi:10.1126/science.1234532.
- Garreaud, R. D. (2009). The Andes climate and weather. *Advances in Geosciences*, 22(22),3–11.
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377(1), 80-91.
- Huss, M. (2011), Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe, *Water Resour. Res.*, 47, W07511, doi:10.1029/2010WR010299.
- Lee, R. (1963). *Evaluation of Solar Beam Irradiation as a Climatic Parameter of Mountain Watersheds*, vol. 2. Ft. Collin, CO: Colorado State University.
- Li, H., Sheffield, J., & Wood, E. F. (2010). Bias correction of monthly precipitation and temperature fields from Intergovernmental Panel on Climate Change AR4 models using equidistant quantile matching. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D10).
- Meyer, P., Itten, K. I., Kellenberger, T., Sandmeier, S., & Sandmeier, R. (1993). Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 48(4), 17-28.
- Montecinos, A., Aceituno, P., (2003). Seasonality of the ENSO-Related rainfall variability in Central Chile and associated circulation anomalies. *J. Climate* 16, 281–296.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Nakicenovic, N., & Swart, R. (2000). Special report on emissions scenarios. Special Report on Emissions Scenarios, Edited by Nebojsa Nakicenovic and Robert Swart, pp. 612. ISBN 0521804930. Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282-290.
- Naz, B. S., C. D. Frans, G. K. C. Clarke, P. Burns, and D. P. Lettenmaier (2014), Modeling the effect of glacier recession on streamflow response using a coupled glacio-hydrological model, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18(2), 787–802, doi:10.5194/hess-18-787-2014
- Ohlanders, N., Rodriguez, M., & McPhee, J. (2013). Stable water isotope variation in a Central Andean watershed dominated by glacier and snowmelt. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 1035–1050
- Pellicciotti F, Burlando P, van Vliet K. (2007). Recent trends in precipitation and streamflow in the Aconcagua River Basin, central Chile. *International Association of Hydrological Sciences* 318: p. 17–38.
- Pellicciotti, F., Ragetti, S., Carenzo, M., & McPhee, J. (2013). Changes of glaciers in the Andes of Chile and priorities for future work. *The Science of the Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.10.055.
- Perkins, S. (2011). A Simple bias correction method for climate extremes estimated by the generalized extreme value distribution. Oral presentation at IUGG 2011 General Assembly, Melbourne, Australia, 28 de junio al 7 de julio 2011.
- Quintana, J., (2004). Estudio de los factores que explican la variabilidad de la precipitación en Chile en escalas de tiempo interdecadal. MSc Thesis, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. 88 pp.
- Ragetti, S., & Pellicciotti, F. (2012). Calibration of a physically based, spatially distributed hydrological model in a glacierized basin: On the use of knowledge from glaciometeorological processes to constrain model parameters. *Water Resources Research*, 48(3).
- Rivera, A., Casassa, G., Acuna, C., & Lange, H. (2000). Variaciones recientes de glaciares en Chile. *Investigaciones geográficas*, (34), Pág-29-60.
- Rivera, A., Acuña, C., Casassa, G., & Bown, F. (2002). Use of remotely sensed and field data to estimate the contribution of Chilean glaciers to eustatic sea-level rise. *Annals of Glaciology*, 34, 367-372.
- Reinwarth, O. and Stäblein, G. (1972): Die Kryosphäre - das Eis der Erde und seine Untersuchung. *Würzburger Geographische Arbeiten* 36: 71 pp.
- Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenney, M. P., & Macomber, S. A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects?. *Remote sensing of Environment*, 75(2), 230-244.

Storck, P., Bowling, L., Wetherbee, P., and Lettenmaier, D., (1998), Application of a GIS-based distributed hydrology model for prediction of forest harvest effects on peak stream flow in the Pacific Northwest: *Hydrological Processes*, v. 12, no. 6, p. 889-904.

Terink, W., R.T.W.I. Hurkmans, P.J.J.F. Torfs y R. Uijlenhoet. (2009). Bias correction of temperature and precipitation data for regional climate model application to the Rhine basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 6, 5377–5413, 2009.

Wigmosta, M. S., Vail, L. W., & Lettenmaier, D. P. (1994). A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water resources research*, 30(6), 1665-1679.

MORFOMETRÍA Y DIMENSIÓN FRACTAL DE REDES DE DRENAJE DE GRANDES CUENCAS DE CHILE

Francisco Martínez C.¹, Alberto Ojeda ² y Hermann Manríquez ³

RESUMEN

Las redes de drenaje son sistemas hidrológicos que evidencian tanto la complejidad morfológica, como la variabilidad hidrológica, climática, litológica y tectónica del relieve de cualquier cuenca. Caracterizar estos patrones es un sujeto complejo frente a lo cual la teoría de objetos fractales surge como una herramienta práctica que podría ayudar a describir tal complejidad. Este estudio determina los parámetros morfológicos básicos de redes de drenaje obtenidas en macrocuencas de Chile, incorporando varias metodologías que permiten además estimar la dimensión monofractal de estos sistemas. Nuestros resultados muestran que esta dimensión se encuentra estrictamente comprendida en el intervalo 1 a 2, concordante con la literatura, evidenciando un efecto del tamaño de cada cuenca y una correspondencia directa con las densidades de drenaje de cada unidad. Se argumenta acerca de los desafíos pendientes respecto de la utilidad de este parámetro como índice geomórfico práctico para caracterizar la diversidad topológica de redes de drenaje.

¹ Ingeniero Civil, Universidad de Chile; MSc y PhD, Université Paris-Sud. Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

² Ingeniero Civil, P. Universidad Católica de Valparaíso. Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

³ Geógrafo, P. Universidad Católica; PhD, Universidad de Barcelona. Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

1 INTRODUCCION

1.1 Acerca de los patrones morfológicos de redes de drenaje

De acuerdo con Gregory y Walling (1973), si se atiende a su densidad de drenaje, las redes fluviales pueden ser de al menos tres tipos: gruesas (*coarse*), medias (*medium*) y refinadas (*fine*), ordenadas de forma creciente en el número de cauces por unidad de longitud al cuadrado (c.f. Figura 1a). De acuerdo a los mismos

autores, se pueden distinguir además al menos ocho patrones morfológicos distintos en una red de drenaje, mostrados en la Figura 1b, dependiendo de la direccionalidad en la propagación de cauces, la tipología de sus bifurcaciones, la anisotropía morfológica de la cuenca, el largo de los cauces, el factor de forma de la cuenca y la función de textura de contorno introducida en la extensa obra de Arthur Strahler.

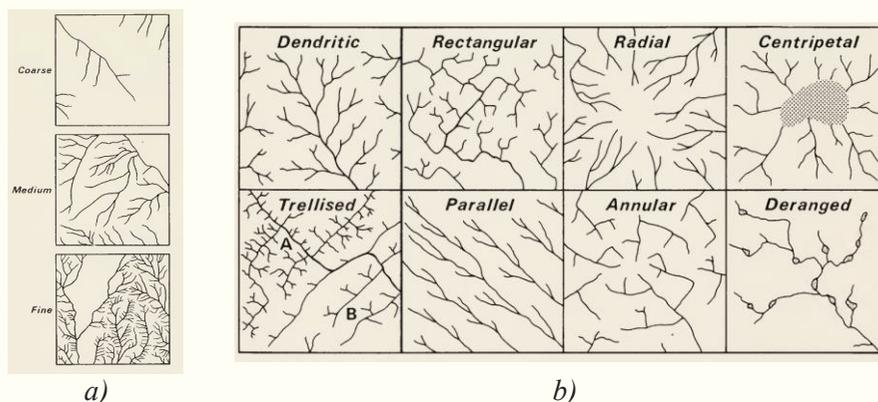


Figura 1. Patrones morfológicos típicamente encontrados en redes de drenaje (Gregory y Walling, 1973).

De acuerdo a Pérez-Pons (2015), el patrón dendrítico (*dendritic*) es la forma más común de los sistemas de drenaje, donde muchas corrientes contribuyen al río principal. Su forma principal es análoga a las ramas de un árbol; este patrón presenta una resistencia uniforme a la erosión, siendo la roca impermeable y no porosa. El patrón paralelo (*parallel*) es causado por fuertes pendientes con algunos relieves, con corrientes rápidas y rectas, con poco afluentes de agua y una misma dirección de movimiento. También este patrón está presente en fallas grandes de las rocas. El patrón radial (*radial*) se caracteriza por corrientes que circulan desde un punto central alto. Suele desarrollarse en zonas volcánicas y sus corrientes y valles se desplazan desde distintos puntos alrededor del cono del volcán. El patrón centrípeto (*centripetal*), en cambio, se caracteriza por las corrientes que convergen a un punto que generalmente es una depresión o una cuenca. Este patrón está formado por una serie de arroyos que después de emerger de las tierras altas circundantes convergen a una zona central más baja que puede ser una depresión, una cuenca o un lago en el cráter. En el patrón anular (*annular*) los arroyos siguen un camino aproximadamente concéntrico a lo largo de una franja de roca débil y suelen ser arroyos, donde la erosión desnuda estratos sedimentarios de diversos grados de dureza. En el patrón desordenado (*deranged*), el agua

converge hacia pequeños lagos o pantanos sin un camino fijo. Un ejemplo típico ocurre en los depósitos glaciales denominados *drift*. El patrón enrejado o trellis (*trellised*) es similar al patrón rectangular, con la diferencia que presenta rocas que difieren en su resistencia a la erosión en el subsuelo. También se puede encontrar este tipo de redes en áreas de fracturas paralelas. El patrón rectangular (*rectangular*) se origina en rocas que son uniformes en la resistencia a la erosión con 2 tipos de dirección del afluente de agua. Estas rocas están usualmente cruzadas por fracturas o fallas, casi perpendiculares entre sí.

Siguiendo nuevamente a Gregory & Walling (1973), se pueden definir varios parámetros de forma adimensional que dan cuenta de la variabilidad morfológica de cuencas. Estos parámetros se indican en la Tabla 1. Valores de F superiores a 1 sugieren cuencas cuyo cauce principal es más bien corto y, por ende, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. El coeficiente C cuando se aproxima a 1, indica cuencas que tienden a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento. Cuando $C=0,785$ hablamos de una cuenca de geometría cuadrada, pero cuando $C \ll 0,785$ tenemos cuencas que tienden a ser alargadas y rectangulares.

Tabla 1. Parámetros de forma típicos que definen la geometría de una cuenca.

Parámetro	Fórmula	Autor(es) ^(*)
Factor de forma (F). Mide la relación entre el área de la cuenca y del cuadrado que la circunscribe. Donde A es área de drenaje, L la longitud recta entre la salida y la entrada de la cuenca	$F = \frac{A}{L^2}$	Horton (1932)
Circularidad (C). Mide la relación entre el área de la cuenca y el área del círculo que posee igual perímetro; P es el perímetro de la cuenca.	$C = \frac{4\pi A}{P^2}$	Miller (1953)
Elongación (E). Mide la relación entre el diámetro del círculo de área equivalente a la de la cuenca y el largo de la cuenca.	$E = \frac{2\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}L}$	Schumm (1956)

^(*) Citados por Gregory y Walling (1973)

Por otra parte, cuando el parámetro E se acerca a la unidad hablamos de cuencas planas y circulares, pero en el rango $0,5 < E < 0,8$ hablamos de cuencas planas con porciones accidentales. Finalmente, el parámetro K surge debido a que Chorley et al. (1957) consideran la

lemniscata como forma ideal de una cuenca. Cuando K se acerca a 1, hablamos de una curva que se asemeja a una circunferencia y a medida que se va angostando, la forma de la lemniscata se va angostando.

1.2 Fractalidad de redes de drenaje

De acuerdo con Gutiérrez-Elorza (2008), hasta mediados del siglo XX los métodos usados para caracterizar cuencas se basaban fuertemente en índices cualitativos, como los de la Tabla 1. Estos métodos están sujetos a la interpretación de cada analista y no permiten profundizar mayormente acerca de la topología de la red de drenaje. En este contexto surge la teoría de fractales (Mandelbrot, 1983; Turcotte, 1989, 1992), cuyo parámetro clave radica en el concepto de dimensión fractal (D). Aunque recibe el nombre de “dimensión”, este parámetro es adimensional y se considera una medida topológica de la dimensión del espacio donde el sistema en observación muestra invariancia de escala (e.g. curvas continuas en \mathbb{R} tienen dimensión $D=1$; superficies encerradas en \mathbb{R}^2 satisfacen $D=2$ y cuerpos en \mathbb{R}^3 poseen $D=3$).

Debido a lo anterior es que, aunque existen objetos que pueden alojarse en espacios topológicos bi o tridimensionales, su dimensión topológica no es necesariamente igual a 2 o 3, sino que pueden adoptar valores fraccionarios, donde proviene el concepto de *fractalidad*. En este escenario se insertan las redes de drenaje fluviales. Horton (1945) fue un pionero en

introducir el concepto de auto-similaridad para estudiar el crecimiento de estos sistemas, definiendo los parámetros de Horton, R_A , R_B y R_L para su caracterización. Estos parámetros corresponden a los radios de área, bifurcación y longitud de drenaje respectivamente:

$$R_A = \lim_{\omega \rightarrow \Omega} \frac{A_\omega}{A_{\omega-1}}, \quad R_B = \lim_{\omega \rightarrow \Omega} \frac{N_\omega}{N_{\omega-1}}, \quad R_L = \lim_{\omega \rightarrow \Omega} \frac{L_\omega}{L_{\omega-1}} \quad (1)$$

Las variables A_ω , N_ω y L_ω corresponden al área, número de bifurcaciones y longitud media de las ramificaciones de orden ω -ésimo dentro de la cuenca, cuyo orden máximo es Ω de acuerdo con la clasificación jerárquica propuesta por el mismo autor. Horton notó que a medida que se acerca al orden máximo de la cuenca, las razones que intervienen en la ecuación (1) convergen aproximadamente a valores constantes, lo que podría interpretarse como un signo de patrones autosimilares alcanzados en la estructura de la red. Siguiendo esta idea, varios autores han propuesto fórmulas para determinar la dimensión fractal de redes a partir de los parámetros de Horton.

Inspirándose en el estudio de Hack (1957), Mandelbrot (1983) dio un primer paso sugiriendo que el coeficiente m de la relación $L \propto A^m$ esconde un comportamiento fractal. Mandelbrot propuso que $m = d/2$ donde $d \sim 1,1$ es la dimensión fractal asociada a la sinuosidad de la corriente principal (*i.e.* el dren de máximo orden 1 según la clasificación de Horton). Posteriormente, Tokunaga encontró una conexión entre el radio de Horton y las propiedades fractales de redes cíclicas basándose en el concepto de auto-similaridad. Inspirándose en estos supuestos, Feder (1987) asumió la constancia de la densidad de drenaje a través de las escalas de una red para estimar d :

$$d = 2 \frac{\ln(R_L)}{\ln(R_B)} \quad (2)$$

El trabajo de Horton fue el inicio de muchos otros estudios en el tópico. Rosso et al. (1991) examinó la estructura de la ecuación (2) proponiendo la siguiente relación:

$$d = \max \left\{ 1, 2 \frac{\ln(R_L)}{\ln(R_A)} \right\} \quad (3)$$

A partir de modelos aleatorios de redes de drenaje Liu (1992) muestra que la estructura fractal de redes puede ser descrita mediante diferentes combinaciones de los parámetros de Horton, definiendo varias medidas topológicas de la dimensión fractal. Una de ellas corresponde a $d = 2 \frac{\ln(R_L)}{\ln(R_A)}$ llamada la dimensión de *camino mínimo*, considerada representativa de los cauces principales de una cuenca a través de diferentes escalas de observación. Sin embargo, uno de los problemas de las ecuaciones (2) y (3) es la necesidad de conectar la dimensión fractal de cauces individuales con la dimensión D de toda la red. La Barbera & Rosso (1989) encontraron una ley para este caso, suponiendo que los parámetros de Horton permanecen constantes a través de dicha red:

$$D_1 = \frac{\ln(R_B)}{\ln(R_L)} \quad \text{si } R_B > R_L \quad (4.1)$$

$$D_1 = 1 \quad \text{si } R_B < R_L \quad (4.2)$$

Las ecuaciones (4.1) y (4.2) conducen a valores en el rango $1,5 < D_1 < 2,0$ (1,67 en promedio). La Barbera and Rosso (1989) argumentan acerca de la imposibilidad de alcanzar valores cercanos a 2, ya que estas redes muestran densidades de drenaje decrecientes a medida que aumenta el área de drenaje. Tarboton et al. (1990) establecen que el estudio de La Barbera & Rosso (1989)

asume que los cauces principales se corresponden con objetos fractales de dimensión unitaria. Cuando $d \sim 1$, Tarboton et al. (1990) propone la siguiente ley para calcular la dimensión fractal de la red:

$$D_2 = 2 \frac{\ln(R_B)}{\ln(R_L)} \quad (5)$$

Tarboton et al. (1988, 1989, 1990) argumenta que existe larga evidencia que muestra que $d \sim 1,14$, limitando el uso de la ecuación (5) al rango $D_2 < 2$. Este resultado es coherente con observaciones realizadas en escalas de cuencas más grandes, donde es razonable suponer que los cauces drenan cada punto de la red (Schuller et al. 2001). En un intenso debate científico, La Barbera & Rosso (1990) refutan la conclusión de Tarboton proponiendo la siguiente modificación de la ecuación (5):

$$D_3 = \frac{1}{2-d} \frac{\ln(R_B)}{\ln(R_L)} \quad (6)$$

Una vez más, Liu (1992) trabajando sobre redes infinitamente densas ($\Omega \rightarrow \infty$) tanto a meso como microescala, encontraron que la dimensión de la red puede ser estimada a partir de:

$$D_4 = 2 \frac{\ln(R_B)}{\ln(R_A)} \quad (7)$$

Aunque las ecuaciones (4) - (7) muestran ser una herramienta práctica para describir la dimensión fractal global de una red de drenaje, su cálculo requiere invertir una gran cantidad de trabajo para obtener la morfometría de la cuenca. Por otro lado, existen varias limitaciones de estos métodos que ameritan ser consideradas. Una de ellas está relacionada con la hipótesis de autosimilaridad. Esta hipótesis ha sido objetivamente refutada por Kirchner (1993), dando lugar a otros métodos basados en el carácter *autoafin* de estas redes. Tal carácter naturalmente emerge de la anisotropía morfológica presente en cuencas reales y la combinación de diferentes procesos tectónicos que constriñen la difusión de las corrientes a lo largo del tiempo (Dodds & Rothman, 2000). Finalmente, inspirándose nuevamente en los estudios de Mandelbrot (1983), Rosso et al. (1991) proponen estimar la dimensión fractal de redes a partir de la relación alométrica:

$$Z \propto A^{D/2} \quad (8)$$

Donde A es el área aportante de la cuenca y Z la longitud (euclídeana) total de los cauces de la cuenca. Rosso et al (1991) obtienen a partir de (5) valores de D comprendidos en el rango 1,67 a 1,90; aunque Claps y Oliveto (1996) comentan la dificultad en la aplicación de esta fórmula como estimador de D . Sin embargo, existen varias limitaciones de estas fórmulas que ameritan ser analizadas, valiendo la pena visitar otros enfoques que postulan un comportamiento fractal auto-afín, más que auto-similar (e.g. Nikora y Sapozhnikov, 1993). Esto conduce a la definición de coeficientes de escala que dan cuenta de la anisotropía morfológica de las cuencas y que intervienen en los escalamientos de

parámetros morfológicos que pueden definirse en la red. A nivel nacional, solo se cuentan unos pocos esfuerzos recientes (Dorsaz et al., 2013; Pereira Claren et al., 2019), que han mostrado que la morfometría y los fractales no sólo son conceptos íntimamente unidos, sino que necesitan nutrirse las bases de datos actuales para otorgarle viabilidad como herramienta de caracterización morfológica. El presente trabajo pretende contribuir en esta dirección midiendo algunas propiedades morfométricas y fractales de varias redes fluviales de cuencas distribuidas a lo largo de Chile, siguiendo el procedimiento que se explica a continuación.

2 METODOLOGÍA

2.1 Selección de cuencas

Este estudio se han seleccionado 23 cuencas distribuidas a lo largo del país, usando como referencia el Inventario Público de Cuencas Hidrográficas de la Dirección General de Aguas, como muestran las Figuras 2a y 2b. Las características de estas cuencas se

detallan en la Tabla 2, abarcando áreas que varían en el rango 6.000 km² a 50.000 km², con una superficie promedio cercana a los 15.000 km². A nuestro juicio, esta elección cubre el espectro de variabilidad hídrica, geológica y climatológica de Chile.

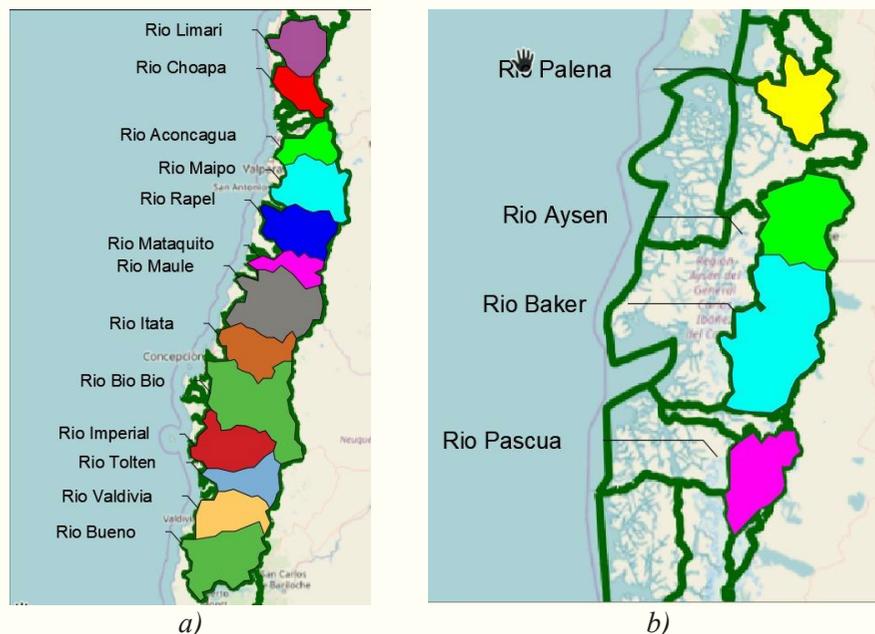


Figura 2. Ubicación de las cuencas seleccionadas en el presente estudio. La línea verde continua corresponde a la delimitación usada para estas cuencas propuesta por el Inventario Público de Cuencas de la DGA.

Todas las cuencas son de tipo exorreicas y los valores de sus parámetros morfométricos básicos se observan en la Tabla 2. En dicha tabla se incluye el parámetro Z que representa la longitud total de cauces en cada cuenca, i_m la pendiente media de la cuenca calculada según la fórmula de Mocciorrita, H_m la altitud media

de la unidad y ρ_D la densidad de drenaje medida en km^{-1} . Estos parámetros se agregan al factor de forma, la circularidad y la elongación que serán calculados más adelante según las herramientas métricas disponibles en Q-GIS y GRASS-GIS.

Tabla 2. Cuencas seleccionadas para el presente estudio, ordenadas de Norte a Sur y según pertenencia a la placa tectónica. Se indican los parámetros geomórficos básicos de cada cuenca.

Unidad	Placa Tectónica	Cuenca	A [km^2]	Z [m]	ρ_D [km^{-1}]	i_m [%]	H_m [m]
1	Nazca Norte	<i>Loa</i>	51056	95007	1,86	13,2	2401
2		<i>Quebrada Caracoles</i>	32537	69970	2,15	8,8	1947
3		<i>Salado</i>	16826	26116	1,55	19,6	3086
4	Nazca Flat Slab	<i>Copiapó</i>	18608	21568	1,16	33,0	2707
5		<i>Huasco</i>	9759	9590	0,98	43,0	2738
6		<i>Elqui</i>	9484	9352	0,99	45,7	2520
7		<i>Limari</i>	11650	11847	1,02	36,8	1673
8		<i>Choapa</i>	7815	8009	1,02	39,5	1701
9		<i>Aconcagua</i>	7341	8842	1,20	41,8	1847
10	Nazca Sur	<i>Maipo</i>	14810	18915	1,28	36,7	1664
11		<i>Rapel</i>	14041	17020	1,21	32,7	1166
12		<i>Mataquito</i>	6219	7031	1,13	31,0	1106
13		<i>Maule</i>	14788	17245	1,17	17,3	432
14		<i>Itata</i>	11457	13351	1,17	19,0	581
15		<i>Bio Bio</i>	24223	25631	1,06	23,8	805
16		<i>Imperial</i>	13443	14632	1,09	14,5	397
17		<i>Toltén</i>	8100	9304	1,15	21,8	555
18		<i>Valdivia</i>	11470	11007	0,96	23,5	489
19		<i>Bueno</i>	13897	15545	1,12	19,2	422
20		<i>Palena</i>	11584	11536	1,00	41,5	865
21		<i>Aysén</i>	12781	12869	1,01	35,9	834
22	Antártica	<i>Baker</i>	29326	31152	1,06	31,0	891
23		<i>Pascua</i>	12141	12913	1,06	30,8	943

2.2 Obtención de las redes de drenaje y los parámetros hortonianos

Todas las imágenes satelitales usadas en este estudio han sido recuperadas desde la plataforma online *Nasa Earth*, de carácter gratuito. Estas imágenes corresponden a archivos tipo DEM, cuyas escalas fotogramétricas son del orden 1:50.000 como muestra la Figura 3. La imagen de base de la Figura 3a se trata mediante el módulo *r.watershed* con el software de

código libre GRASS-GIS. Luego de ello se aplica el módulo *r.water.outlet* para delimitar el área aportante a un punto específico de salida de la cuenca, como muestra la Figura 3b y 3c. Una vez obtenida la cuenca aportante se utiliza el comando *r.mask* con objeto de aislar el área específica que se utilizará para determinar los parámetros de Horton definidos en (1).

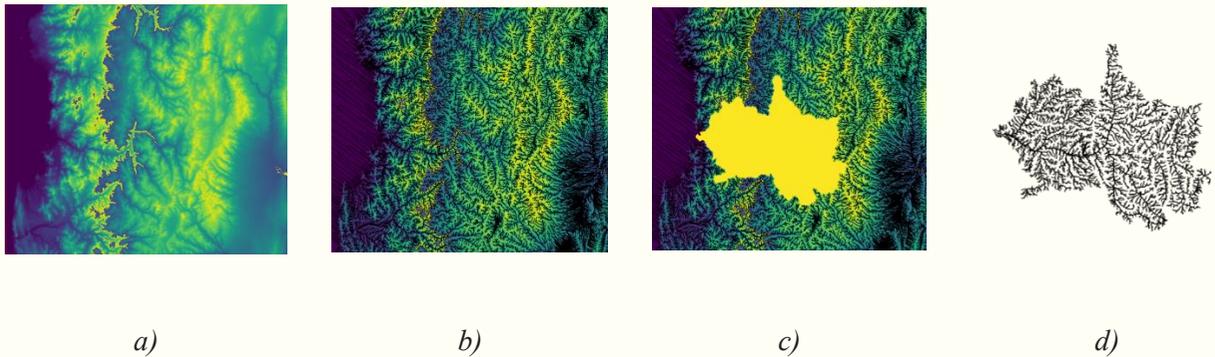


Figura 3. Procedimiento secuencial para la obtención de la red de drenaje, a partir de los archivos DEM obtenidos desde la plataforma NASA Earth y tratados en el software Q-GIS. La red mostrada en d) corresponde al sistema analizado en *Fractalyse*.

De esta área de trabajo, se extrae la red de drenaje aplicando nuevamente el comando *r.watershed*, dando como resultado la Figura 3d. Mediante el módulo *r.stream.order* es posible extraer desde el mismo programa, las sub-áreas aportantes de la red, el número

de bifurcaciones y las longitudes medias asociadas a cada orden definido en la cuenca. El ordenamiento jerárquico de la misma también es realizado por el software siguiendo la estructura de Strahler.

2.3 Dimensión fractal calculada por *box-counting*

Si bien la batería de expresiones indicadas en la sección 1.2 permite estimar la dimensión fractal a partir de los parámetros hortonianos, esto también puede lograrse a partir de algoritmos recursivos. Uno de ellos es el método *box-counting* aplicado en este estudio a través del software de código libre *Fractalyse*. Este software fue desarrollado por el grupo de investigación *Thema* al alero de la Université French-Comté. Si bien este programa fue creado para caracterizar fractales urbanos, su uso se ha extendido a redes naturales. El método en cuestión realiza una grilla cuadrículada de tamaño uniforme igual a ε , que se superpone a la red de drenaje determinada según el procedimiento indicado en la sección 2.2. Se cuenta el número $N(\varepsilon)$ de cajas que son atravesadas por, al menos, un cauce de la red. A medida que aumenta la densidad de la grilla,

disminuirá el tamaño de cada caja ε , de manera que cuando ε tiende a cero el producto $N(\varepsilon) \cdot \varepsilon$ producirá una aproximación cada vez más precisa a la longitud total de los cauces de la red y con ello de su dimensión fractal. Esta dimensión se estima entonces como:

$$D_5 = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)} \quad (9)$$

Si llevamos a una gráfica de tipo logarítmico las variables $N(\varepsilon)$ y $1/\varepsilon$, es posible identificar la dimensión fractal midiendo la pendiente de la curva que definen estas variables para distintas densidades de grilla mediante una regresión en ley de potencia, que es lo que finalmente realiza *Fractalyse*.

3 RESULTADOS

3.1 Morfología de las redes de drenaje

El patrón y características morfológicas de las redes de drenaje estudiadas guardan estrecha relación tanto con las características morfo-estructurales como con el ambiente morfoclimático en el que ellas se desarrollan. Efectivamente, en términos amplios, existe una variación altimétrica del relieve, que desciende en altitud de este a oeste y que se expresa a través de las relaciones topográficas entre las diferentes unidades morfoestructurales, organizadas en bandas paralelas en un sentido norte-sur. Ellas son debidas a las interacciones entre placas tectónicas que han permitido configurar el aspecto del relieve actual reconocible desde el paleógeno tardío, estadio en el que alzamiento andino toma lugar (Charrier, 2007). las variaciones altimétricas corticales, motivadas por factores tectónicos, provocan comportamientos diferenciados de las redes de drenaje. Así, variaciones positivas motivan la incisión de los escurrimientos, en cambio, variaciones en sentido opuesto favorecen procesos de sedimentación y relleno. Estas relaciones son en extremo complejas cuando se considera el nivel relativo del mar, el que por efectos eustáticos - o isostáticos - motiva cambios en el nivel de base y con ello similares procesos geomorfológicos. Por otra parte, el factor litológico contribuye a favorecer o entorpecer estos

procesos en la medida que las rocas son más o menos resistentes a la erosión.

Desde otro punto de vista, el clima tiene importancia en el modelado del relieve y en acentuar o disminuir la incisión vertical, ligada casi exclusivamente a las características de la precipitación. A nivel de país, el régimen climático se encuentra condicionado por la influencia de la situación anticlinal semipermanente sobre el océano Pacífico que entrega las condiciones de aridez en la zona norte. Por el contrario, los sistemas frontales son los encargados de llevar las precipitaciones a la zona central y sur, con incrementos evidentes en los volúmenes en función de la latitud. Las precipitaciones estivales que ocurren en el altiplano, son debidas a la influencia de sistemas convectivos tropicales que escasamente logran escapar de este ámbito, pero que sin embargo influyen los escurrimientos que bajan hacia los sectores más bajos.

A la escala de 1:50.000 las redes presentan morfologías claramente dendríticas, sin embargo, hay diferencias en cuanto a la densidad y largos de sus colectores. Las áreas montañosas presentan drenes más bien cortos que “dibujan” muy bien la unidad morfoestructural, hecho notorio en las cuencas que son definidas como

“andinas”, cuyas nacientes se encuentran en la cordillera de los Andes, y sus divisorias coinciden con el límite internacional. En la zona norte del país, a la salida del ámbito montañoso robusto y elevado de la cordillera andina, las menores pendientes topográficas y el mayor espacio disponible, confluyen para que los drenes alcancen mayores largos; esto es observable en los cursos medios de las cuencas cuyo mayor desarrollo se alcanza en la depresión central. Esto es lo que

permite comprender que cuencas como el Loa, Caracoles y Salado, tengan las mayores longitudes totales de sus cauces. La mayor densidad de volcanes y altas cumbres montañosas, en una macrounidad morfoestructural compleja desde el punto de vista tectónico, condicionan patrones radiales en torno a ellas, y patrones de tipo paralelo sobre los extensos planos inclinados que conectan los altos relieves con la depresión central.

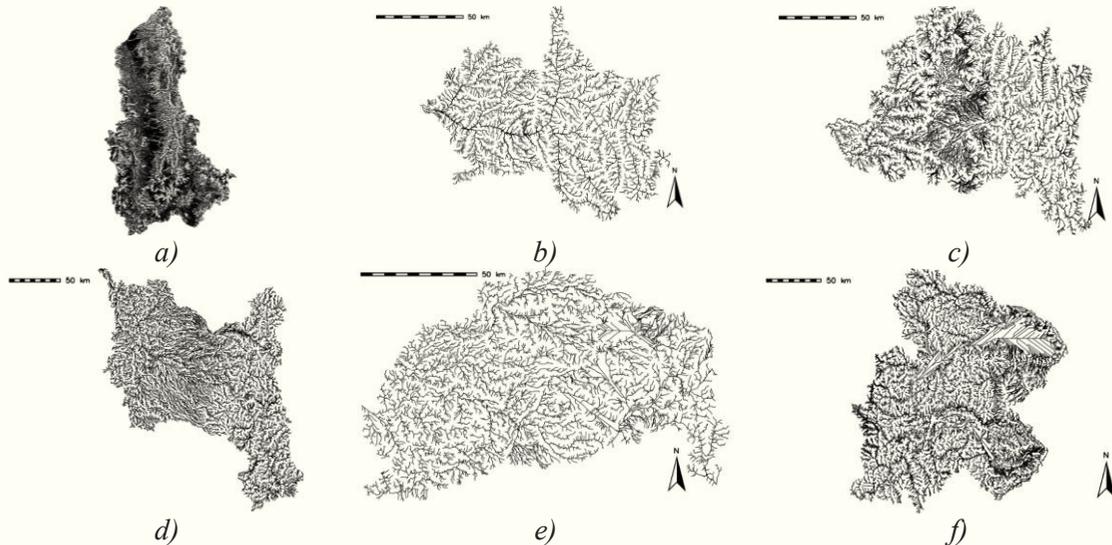


Figura 4. Patrones morfológicos de las redes de drenaje de algunas de las cuencas usadas en el presente estudio. Se hace notar que las redes se encuentran a la misma escala (1:50.000), pero poseen dispares superficies. Red de el a) río Loa, b) río Elqui, c) río Maipo, d) río Bio-Bio, e) río Valdivia y f) río Baker.

Entre los 27 y 33°S, la depresión central es reemplazada por un conjunto irregular de cordones montañosos que no forman alineamientos claros ni patrones topográficos dominantes, salvo por el descenso de altitud este-oeste. Aquí es posible identificar claramente el colector principal, que tiene un desarrollo importante en término de su largo, y que logra abrirse paso en estos relieves, hasta llegar al mar. Es la región que ha sido llamada como Norte Chico o Región de los Valles Transversales, alguna de cuyas cuencas características son las de los ríos Elqui, Limarí y Choapa. Las cuencas localizadas en la zona central del país presentan regímenes estacionales –pluviales en invierno; nivales y glaciales en la época de verano. Las unidades morfoestructurales nuevamente adquieren el paralelismo que las caracteriza y que se mantiene hasta la latitud Puerto Montt. La densidad y patrón dendrítico de los drenes resalta la condición del relieve

permitiendo distinguir las cordilleras de la depresión central, formada por grandes abanicos de la forma de una rampa aluvial (Paskoff, 1996).

En la zona sur de Chile, la depresión central y la cordillera costera han desaparecido como unidades morfoestructurales; permitiendo a la cordillera de los Andes caer directamente al mar. Aquí se desarrolla a nivel tectónico la interacción de la placa Antártica con la placa sudamericana y gran parte del paisaje es resultado de las influencias de un sistema morfogenético glacial heredado. Los ríos principales son torrentosos y corren en el fondo de valles angostos y profundos, muchas veces controlados por fallas, adoptando las redes muchas veces patrones de tipo rectangular (Paskoff, 1996).

3.2 Parámetros de forma

En la Tabla 3 se observan los valores obtenidos para cada factor de forma de las cuencas en estudio. Notemos que el factor F presenta valores predominantemente inferiores a 1, con un valor

promedio variable entre 0,44 a 1,00. Los valores más altos de este coeficiente resultan para las cuencas ubicadas en la macrozona norte, insertas dentro del área de influencia de la placa Nazca Norte.

Tabla 3. Parámetros de forma de las cuencas analizadas en el presente estudio. A modo de comparación se incluye los valores promedios de estas variables según la cuenca tectónica.

Unidad	Placa Tectónica	Cuenca	F	C	E
1	Nazca Norte	<i>Loa</i>	1,88	0,40	0,48
2		<i>Quebrada Caracoles</i>	0,84	0,3	0,58
3		<i>Salado</i>	0,28	0,33	0,34
		Promedio	1,00	0,38	0,26
4	Nazca Flat Slab	<i>Copiapó</i>	0,49	0,34	0,42
5		<i>Huasco</i>	0,40	0,31	0,44
6		<i>Elqui</i>	0,47	0,34	0,46
7		<i>Limari</i>	0,62	0,45	0,52
8		<i>Choapa</i>	0,46	0,33	0,52
9		<i>Aconcagua</i>	0,37	0,37	0,43
		Promedio	0,47	0,36	0,26
10	Nazca Sur	<i>Maipo</i>	0,49	0,38	0,45
11		<i>Rapel</i>	0,44	0,39	0,48
12		<i>Mataquito</i>	0,20	0,22	0,32
13		<i>Maule</i>	0,57	0,34	0,43
14		<i>Itata</i>	0,40	0,34	0,48
15		<i>Bio-Bio</i>	0,28	0,30	0,39
16		<i>Imperial</i>	0,44	0,42	0,43
17		<i>Toltén</i>	0,39	0,35	0,36
18		<i>Valdivia</i>	0,49	0,39	0,49
19		<i>Bueno</i>	0,46	0,40	0,53
20		<i>Palena</i>	0,49	0,20	0,43
21	<i>Aysén</i>	0,62	0,35	0,51	
		Promedio	0,44	0,34	0,25
22	Antártica	<i>Baker</i>	0,88	0,37	0,41
23		<i>Pascua</i>	0,54	0,31	0,36
		Promedio	0,71	0,34	0,22

Estos valores de F sugieren además la predominancia de superficies de geometrías elongadas y rectangulares, aspecto visible para la cuenca del Loa. Por otro lado, los valores medios del factor de circularidad (C) y de elongación (E) muestran magnitudes inferiores a 0,5, con un promedio variable entre 0,34 a 0,38 (para el primer caso) y entre 0,22 a 0,26 (para el segundo caso). En ambas situaciones, estos valores medios se encuentran lejos de los límites establecidos en la

sección 1.1. Estos resultados pueden ser interpretados como un signo de cuencas que tienden a adoptar formas planas, con porciones accidentadas y que además presentan poca predominancia de formas circulares, lejos aún de la geometría *lemniscata* propuesta por Chorley. Esto se traduce hidrológicamente en una baja tendencia a concentrar el escurrimiento de lluvias intensas, regulando la formación de grandes crecidas.

3.3 Dimensión fractal de las redes

En la Tabla 4 se muestran los valores de la dimensión fractal obtenida a partir de las formulaciones explicitadas en la sección 1.2. En la tabla se incluyen también los valores obtenidos mediante el método *box-counting*. Notemos que los estimadores D_2 y D_3 conducen a valores muy similares entre sí. Sin embargo, el estimador D_4 presenta los valores más altos del registro, situando a varias cuencas chilenas en un escenario de pleno drenaje atendiendo al concepto de *full filling space* que describe Phillips (1993), una situación que desde nuestra perspectiva es irrealista debido a las constricciones evidentes al drenaje que impone la litología de cada cuenca. En cambio, el estimador D_1 nos conduce a valores consistentemente bajos para todas las cuencas. Dejando de lado los resultados producidos por el estimador D_4 , como resumen de la Tabla 4 tenemos que los valores de la dimensión fractal de cuencas chilenas se sitúan en el intervalo 1,26 a 1,89, con un valor medio global de 1,51. Dicho promedio se encuentra lejos de los valores medios reportados por Rosso et al. (1991).

A partir de ahora nos concentramos en los valores reportados por el código *Fractalyse*, que consideramos

permite aproximarnos a magnitudes más plausibles de la dimensión fractal. Notemos de inmediato que los valores más altos de esta dimensión se obtienen para las cuencas insertas en el área de influencia de la Placa Nazca Norte. Estos números tienen una correspondencia directa con la alta densidad de drenaje de estas redes, como consecuencia de la condición de suelo desnudo y de alta pendiente que parecen favorecer la generación y difusión de los cauces destinados a drenaje.

A excepción de las cuencas del extremo sur del país, en el resto de las cuencas la dimensión fractal oscila entre 1,50 a 1,72, valores que tienen un correlato con la densidad de estas redes que es variable entre 0,96 a 1,28 km^{-1} . Finalmente, las cuencas de la zona austral influenciadas por la placa Antártica muestran valores que tienden a aumentar nuevamente, reflejo de zonas de alta densidad hídrica, pero insertas en un territorio más disgregado con densidades de drenaje cercanas a 1,07 km^{-1} . En consecuencia, la dimensión fractal resultante del método de *box-counting* es consistente con la variabilidad observada en la densidad de las redes de drenaje, como la obtenida de la propia observación de las imágenes planimétricas de cada cuenca.

Tabla 4. Dimensiones fractales de cada red calculadas de acuerdo con los métodos de la sección 1.2, ordenadas según la placa tectónica que influencia cada unidad.

Unidad	Placa Tectónica	Cuenca	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
1	Nazca Norte	<i>Loa</i>	1,58	1,81	1,84	1,99	1,89
2		<i>Quebrada Caracoles</i>	1,46	1,66	1,70	1,96	1,87
3		<i>Salado</i>	1,34	1,52	1,55	2,11	1,66
4	Nazca Flat Slab	<i>Copiapó</i>	1,36	1,56	1,59	2,02	1,72
5		<i>Huasco</i>	1,29	1,47	1,50	2,01	1,56
6		<i>Elqui</i>	1,26	1,44	1,46	2,04	1,51
7		<i>Limari</i>	1,31	1,49	1,52	2,05	1,55
8		<i>Choapa</i>	1,32	1,50	1,53	2,04	1,53
9		<i>Aconcagua</i>	1,32	1,50	1,53	2,18	1,68
10	Nazca Sur	<i>Maipo</i>	1,33	1,51	1,54	2,05	1,63
11		<i>Rapel</i>	1,33	1,51	1,54	2,02	1,58
12		<i>Mataquito</i>	1,32	1,50	1,53	2,07	1,50
13		<i>Maule</i>	1,32	1,50	1,53	2,08	1,63
14		<i>Itata</i>	1,29	1,47	1,50	1,97	1,59
15		<i>Bio-Bio</i>	1,29	1,48	1,50	2,06	1,71
16		<i>Imperial</i>	1,33	1,51	1,54	2,03	1,58
17		<i>Toltén</i>	1,28	1,46	1,49	2,06	1,55
18		<i>Valdivia</i>	1,30	1,49	1,51	2,06	1,50
19		<i>Bueno</i>	1,40	1,59	1,63	2,10	1,56
20		<i>Palena</i>	1,30	1,48	1,51	1,94	1,55
21		<i>Aysén</i>	1,32	1,50	1,54	1,97	1,56
22	Antártica	<i>Baker</i>	1,34	1,53	1,56	2,04	1,71
23		<i>Pascua</i>	1,39	1,58	1,61	2,18	1,63

En la Figura 5 se compara la dimensión fractal con otros parámetros característicos de las cuencas. De la Figura 5a se desprende que para cuencas de hasta 15.000 km², las dimensiones muestran valores similares entre sí sugiriendo que, en unidades de tamaño acotado hasta el límite indicado, el uso de los parámetros hortonianos basados en el concepto de auto-similaridad conducen a valores de la dimensión fractal coincidentes con las mediciones calculadas por algoritmos gráficos. Sin embargo, este no es el caso para cuencas de tamaño superior a 15.000 km². Aquí la dimensión fractal crece hasta valores cercanos a 2,0, resultado propio de redes de drenaje muy densas insertas en grandes áreas, que tienden a saturar todo el espacio disponible para drenaje tal como menciona Phillips (1993). Nuevamente, las cuencas de la zona norte parecen satisfacer mejor esta condición, siendo en consecuencia las que presentan los valores más altos de fractalidad. Notemos también que el valor medio 1,62 obtenido desde Fractalyse es

cercano al valor 1,67 obtenido por Claps & Oliveto (1996) para cuencas de Italia.

Las Figuras 5b y 5c muestran la variación de la dimensión fractal en función de la pendiente media y la densidad de drenaje de cada cuenca. El elemento más relevante de estas gráficas es que la dimensión fractal aumenta con valores crecientes de la densidad de drenaje (Figura 5c), como habíamos mencionado. Inesperadamente, el gráfico de la Figura 5b muestra que la dimensión fractal no varía significativamente con la pendiente media de la cuenca, independientemente del estimador usado, aunque sí se observa una dispersión importante en los datos. Este resultado es necesario profundizarlo, ya que existen razones fundadas para pensar que la pendiente de cada cuenca tiene un efecto sobre la topología de la red, como han revelado mediciones realizadas en cuencas cordilleranas y cuencas ubicadas en zonas bajas (Dorzas et al. 2013).

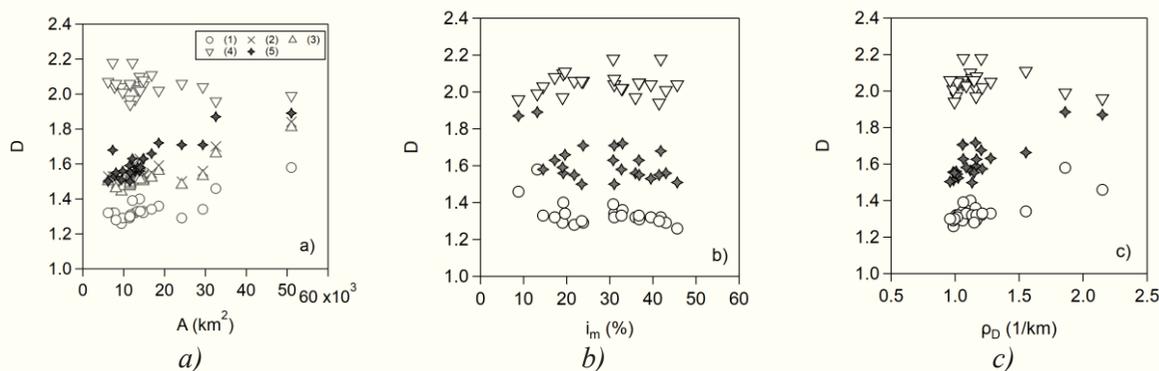


Figura 5. Dimensión fractal estimada según las ecuaciones (1)-(5) en función de a) el área de cuada cuenca, b) la pendiente media de la cuenca y c) la densidad de drenaje. Los números (1) a (5) corresponden a los estimadores descritos en la sección 1.2.

4 CONCLUSIONES

En este estudio se reportan algunos parámetros geomórficos y la dimensión fractal de redes de drenaje, representativos de grandes cuencas distribuidas a lo largo del país. Los patrones de drenaje de estas redes son predominantemente dendríticos, con un grado de anisotropía importante en su direccionalidad, particularmente para las cuencas del norte del país. Los parámetros de forma revelan que las cuencas analizadas tienden a ser elongadas y rectangulares, con superficies planas de porciones accidentadas. De modo similar, el coeficiente de circularidad sugiere que estas unidades poseen baja tendencia a concentrar el escurrimiento en lluvias intensas, regulando así la formación de grandes crecidas. Sin embargo, estos parámetros no aportan mayor información sustantiva relativa a la topología y estructura geométrica de las redes de drenaje.

Los valores de dimensión fractal estimados mediante las formulaciones basadas en los parámetros de Horton muestran similitudes con los resultados proporcionados por la técnica *box-counting*, solo para cuencas de tamaño inferior a 15.000 km². Fuera de este rango, esta similitud se desvanece y con ello la hipótesis de autosimilaridad que aparentemente gobierna la difusión de drenes de una red. Al parecer un aumento significativo en el tamaño de la cuenca conlleva forzosamente a patrones de drenaje diversos que coexisten en una misma zona, alejándonos de la condición de patrón dendrítico que predomina en las cuencas analizadas. Todo ello afecta el valor global de la dimensión fractal. A pesar de los innumerables factores que la afectan, esta dimensión presenta una correspondencia con la densidad de drenaje de cada unidad, aunque una débil dependencia respecto de la pendiente media de cada cuenca. Este último aspecto amerita ser re-explorado con mayor profundidad,

incluyendo otros estadísticos que den cuenta de la influencia de tal pendiente en la difusión de drenes de cada red. Con todo lo anterior, la dimensión fractal obtenida mediante varios estimadores se sitúa en el rango 1,28 a 1.89 con un valor medio global de 1,51 para las cuencas chilenas.

De estos resultados, creemos que los obtenidos a través del método de *box-counting* parecen capturar mejor la geometría de las redes; sin embargo, este método aún se circunscribe a mediciones planimétricas desconociendo posibles efectos topográficos inducidos por variaciones de altitud dentro de la unidad. La puesta en práctica de un método de conteo tridimensional podría aportar mayor información en esta dirección y con ello de los efectos del relieve. Siguiendo esta argumentación, aún se requiere recabar mayor información de carácter geológico y geográfico que permita ahondar acerca de los efectos tectónicos que intervienen en la construcción de cada red a través del tiempo. Esto representa un desafío mayor, sobretudo en la interpretación de la dimensión fractal. ¿Es acaso una red hidrográfica el resultado de efectos hidrográficos/erosivos que modifican el relieve, o es el relieve que impone las direcciones hacia donde dicha red puede difundirse? Ésta es aún una pregunta abierta en el tópico.

En resumen, este trabajo representa un primer esfuerzo por caracterizar propiedades fractales en redes de drenaje de Chile y amerita seguir siendo profundizado en varios aspectos (*e.g.* influencia del tamaño de la cuenca, efectos del régimen hidrológico, efectos de la variabilidad climática, efectos tectónicos, etc.), con el objeto que este parámetro se constituya en un factor geomórfico de interés para ayudar a clasificar y caracterizar con mayor detalle la complejidad topológica de las redes fluviales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Prof. Jorge Gironás (Depto. Ing. Civil, PUC) por las discusiones y la bibliografía aportada para el desarrollo del presente estudio.

REFERENCIAS

- Charrier, R., Pinto, L., y Rodríguez, M. P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *The Geology of Chile* (pp. 21-114)
- Claps, P. y Oliveto, G. 1996. Reexamining the determination of the fractal dimension of river networks. *Water Resources Research*, 32 (10), 3123-3135.
- Dodds P.S. y D.H. Rothman (2000). Scaling, Universality and Geomorphology. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28, 571-610.
- Dorsaz, J-M., Gironás, J, Escauriaza, C. y Rinaldo, A. 2013. The geomorphometry of endorheic drainage basins: implications for interpreting and modelling their evolution. *Earth Surface Process and Landforms*, 38, 1881-1896.
- Feder, J. 1988. *Fractals*. Plenum Press, New York.
- Gregory, K. J. y Walling, D. E. 1973. *Drainage Basin Form and Process*. Edward Arnold, London.
- Gutiérrez Elorza, M. 2008. *Geomorfología*. Prentice Hall.
- Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *USGS Professional Papers* 56, 275-370.
- La Barbera, P. y Rosso, R. 1989. On the fractal dimension of stream networks. *Water Resources Research* 25 (4), 735-741.
- La Barbera, P. y Rosso, R. 1990. Reply. *Water Resources Research* 26 (9), 2245-2248.
- Liu, T. 1992. Fractal structure and properties of stream networks, *Water Resources Research*, 28 (11), 2981-2988.
- Mandelbrot, B.B. 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, New York.
- Nikora, V. y Sapozhnikov, V. 1993. River network fractal geometry and its computer simulation. *Water Resources Research*, 29 (10), 3569-3575.
- Paskoff, R. 1996. *Atlas de las Formas de Relieve de Chile*. Instituto Geográfico Militar. 288 pp.
- Perez Pons, P.I. 2015. Visualización de Mallas de Terreno e Identificación de Patrones de Drenaje en Cuencas. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil en Computación, U. de Chile.
- Pereira-Claren, A, Gironás, J., Niemann, J.D., Passalacqua, P., Mejía, A. y Escauriaza, C. 2019. Planform geometry and relief characterization of drainage networks in high-relief environments: An analysis of Chilean Andean basins. *Geomorphology*, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.05.011>
- Phillips, J. D. (1993). Interpreting the fractal dimension of river networks, Ch.7. *Fractals in Geography*, Lam, N. S.-N. and De Cola, L. Eds. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Rodriguez-Iturbe, I. y Rinaldo, A. 1997. *Fractal River Basins: Chance and Self-Organization*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Rosso, R., Bacchi, B. y La Barbera, P., 1991. Fractal relation of mainstream length to catchment area in river networks. *Water Resources Research*, 27 (3), 381-387.

Schuller, D.J., Rao A.R y Jeong, G.D. 2001. Fractal characteristics of dense stream networks. *Journal of Hydrology* 243, 1–16, 15

Tarboton, D. G., R. L. Bras y I. Rodriguez-Iturbe (1988). The fractal nature river networks. *Water Resources Research*,24, 8, 1317-1322

Tarboton, D. G., R. L. Bras y I. Rodriguez-Iturbe (1989). Scaling and elevation in river networks. *Water Resources Research*, 25, 6, 2037–2051.

Tarboton, D. G., R. L. Bras y I. Rodriguez-Iturbe (1990). Comment on "On the fractal dimension of stream networks" by P. La Barbera and R. Rosso. *Water Resources Research*,26, 9, 2243-2244.

Turcotte, D. 1989. *Fractals in geology and geophysics*. Pure and Applied Geophysics 131, 171– 196.

Turcotte, D. 1992. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

AGUAS NUEVAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ARCADIS CHILE S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CÍA. DE PETROLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CyD INGENIERÍA LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

EMPRESA CONSTRUCTORA GUZMÁN Y LARRAÍN LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.

EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.

EMPRESAS CMPC S.A.

ENAEX S.A.

ENEL GENERACIÓN CHILE S.A.

FLUOR CHILE S.A.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

SUEZ MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

SYNEX INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.



Cuando es **pyme** tiene otro **valor**

Porque detrás de cada producto o servicio **existe un valor diferente.** Uno que acerca la tecnología a todos y la convierte en herramienta.



“Los emprendedores tenemos sueños y en Bci te ayudan a hacerlos realidad”

Felipe Saxton - Cliente Bci - Servicios Anastasia

anastasia.ai

Más información en bci.cl/empresarios/valorpyme

Cámbiate a Bci    BancoBci

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



Bci
seamosdiferentes