

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

JUNTA EJECUTIVA

Presidente

Juan Carlos Barros Monge

Primer Vicepresidente

Ricardo Nicolau del Roure G.

Segunda Vicepresidenta

Ximena Vargas Mesa

Secretario

Germán Millán Valdés

Prosecretario

Javier García Monge

Tesorero

Jorge Pedrals Guerrero

Protesorero

Mauro Grossi Pasche

DIRECTORIO 2024 Alejandra Acuña Villalobos Hernán Alcayaga Saldías Dante Bacigalupo Marió Marcial Baeza Setz Cristian Barrientos Gutiérrez Juan Carlos Barros Monge Juan Enrique Castro Cannobbio Alex Chechilnitzky Zwicky Silvana Cominetti Cotti-Cometti Rodrigo Fernández Aguilera Álvaro Fischer Abeliuk Roberto Fuenzalida González Javier García Monge Mauro Grossi Pasche Germán Millán Valdés Marcela Munizaga Muñoz Eduardo Muñoz Castro **Juan Music Tomicic** Luis Nario Matus Ricardo Nicolau del Roure G. José Orlandini Robert Verónica Patiño Sánchez Jorge Pedrals Guerrero Humberto Peña Torrealba Daniela Pollak Aguiló Miguel Ropert Dokmanovic

Secretario General Carlos Gauthier Thomas

Ximena Vargas Mesa

Mauricio Sarrazín Arellano

Alejandro Steiner Tichauer

Jorge Yutronic Fernández

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA ANTISÍSMICA, ACHISINA.

Presidente: Jorge Carvallo W.

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA

DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL -

CAPÍTULO CHILENO, AIDIS.

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA

HIDRÁULICA, SOCHID. Presidente: Jorge Gironás L.

SOCIEDAD CHILENA

DE GEOTECNIA, SOCHIGE.

Presidente: Paulo Oróstegui T.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA

DE TRANSPORTE, SOCHITRAN. Presidenta: Camila Balbontín T.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN

EN INGENIERÍA, SOCHEDI. Presidente: Raúl Benavente G.

COMISIONES DEL INSTITUTO

Cambio climático y el agua.

Presidente: Luis Nario M.

Comunicaciones.

Presidente: Germán Millán V.

Convergencia Biológica Digital.

Presidente: Alejandro Steiner T.

El Estado, su eficiencia, su rol y los desafíos

Presidente: Jorge Pedrals G.

Ingenieros en la historia presente.

Presidente: Miguel Ropert D.

Práctica y academia en la ingeniería chilena.

Presidenta: Silvana Cominetti C.

Propuestas desde la ingeniería para superar

la pobreza.

Presidente: Juan Enrique Castro C.

Prospectivas de la Ingeniería Chilena (II parte).

Presidente: Jorge Yutronic F.

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

Académicas y Profesionales.

Presidente: Eduardo Muñoz C.

Seguridad (Ad-hoc)

Presidente: Raúl Manásevich

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Bruno Behn Theune

Sergio Bitar Chacra

Francisco Brieva Rodríguez

Mateo Budinich Diez

Juan Enrique Castro Cannobbio

Alex Chechilnitzky Zwicky

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Sergio Lavanchy Merino

Agustín León Tapia

Nicolás Majluf Sapag

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

José Rodríguez Pérez

Rodolfo Saragoni Huerta

Mauricio Sarrazín Arellano

Raúl Uribe Sawada

Luis Valenzuela Palomo

Andrés Weintraub Pohorille

Jorge Yutronic Fernández

ÍNDICE



Nuestra portada

A nivel mundial, hace ya mucho tiempo, la inteligencia artificial y los modelos cuantitativos son una realidad en el tema de seguridad: cámaras para captar información, grabar, reconocimiento facial, placa patente, modelos predictivos, modelos de lenguaje, etc. Una batería de herramientas que podríamos utilizar para mejorar la seguridad.

REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA N° 502, agosto de 2024

Dirección: San Martín Nº 352, Santiago Teléfonos: (+56) 22696 8647 – (+56) 93736 0656 e-mail: secretaria@institutodeingenierosdechile.cl www.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

Juan Carlos Barros Monge

SECRETARIO GENERAL

Carlos Gauthier T.

SECRETARÍA

Patricia Núñez G.

DIAGRAMACIÓN

versión productora gráfica SpA

EDITORIAL.

Pág. 2

PREVENCIÓN Y PERSECUCIÓN EFECTIVA DEL DELITO.

Explorando ejemplos exitosos para la implementación de estrategias de base científico-tecnológica.

Pág. 3

Conferencia de los Sres. Raúl Manásevich, Daniel Johnson, Michel Jorratt, Claudio Ramírez y Richard Weber.

DESAFÍOS PARA LA AGRICULTURA FRENTE A UN CLIMA CAMBIANTE.

Pág. 31

Conferencia del Sr. Pablo Mendoza y Sra. Susana Fischer.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS.

Pág. 52

- Sr. Sebastián Bernstein Letelier
- Sr. Patricio Aceituno Gutiérrez

Comisión de Ingenieros en la Historia Presente

Presidente: Sr. Miguel Ropert D.

EDITORIAL

E nizado", por una parte, y "el cambio climático", con las severas consecuencias que observamos debido a inundaciones, temporales y otros fenómenos naturales que se están produciendo en todo el planeta, por otra. El Instituto de Ingenieros de Chile ha abordado ambos problemas y en esta ocasión, convocó a distinguidos especialistas que, en sendas conferencias, presentaron diversas estrategias de base científico-tecnológica para la atenuación de ambos flagelos.

Prevención y Persecución Efectiva del Delito fue abordada por los señores Raúl Manásevich, Daniel Johnson, Michel Jorratt, Richard Weber y Claudio Ramírez, en la conferencia celebrada en marzo del presente año. Dichos análisis se complementaron con numerosos ejemplos exitosos que presentaron los expositores.

El señor Raúl Manásevich, PhD Universidad de California Berkeley, USA, Profesor Titular de la Universidad de Chile expuso sobre el rol de la ciencia, ingeniería y tecnología en la lucha contra la delincuencia, destacando la importancia que estas disciplinas tienen en la resolución de problemas asociados a esta realidad delictiva.

El señor Daniel Johnson, Ingeniero Civil Industrial, Pontificia Universidad Católica de Chile y Director Ejecutivo Fundación Paz Ciudadana, disertó en relación al análisis cuantitativo de la evolución de la delincuencia en Chile, acompañando a su exposición importante información cuantitativa, identificando tendencias y patrones a lo largo del tiempo y su posible evolución, y recomendaciones.

El señor Michel Jorratt, Ingeniero Civil Industrial y Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, Ex Director Nacional Servicio de Impuestos Internos y Consultor, se refirió al análisis de las entidades en Chile que manejan información relevante sobre la compra y venta de activos vinculados a la delincuencia, desde una perspectiva científico-tecnológica.

El señor Richard Weber, PhD, RWTH Aachen, Alemania y Profesor Titular Universidad de Chile, describió modelos analíticos e inteligencia artificial para determinar grupos y estructuras criminales, modelos que permiten identificar redes delictuales y patrones de comportamiento, conducentes a la detección de potenciales sospechosos.

Por último, el señor Claudio Ramírez, Abogado y Coordinador Nacional del Sistema de Análisis Criminal y Focos Investigativos de la Fiscalía Nacional, comentó respecto de la utilidad que ha tenido para su trabajo la investigación y desarrollo que ha hecho el grupo RWTH.

La conferencia **Desafíos para la Agricultura frente a un Clima Cambiante** se realizó en el mes de junio y contó con la participación del señor Pablo Mendoza y de la señora Susana Fischer.

El señor Pablo Mendoza, Ingeniero Civil PhD. de la Universidad de Colorado en Boulder, Magíster en Ciencias de la Ingeniería mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico de la Universidad de Chile e investigador asociado en Advanced Mining Technology Center (AMTC) de la Universidad de Chile, abordó el tema "Avances recientes en proyecciones hidroclimáticas para Chile continental", exponiendo tecnologías y adaptaciones propuestas para el cambio climático en la agricultura. Se enfocó en la actualización del balance hídrico nacional, en particular del trabajo de homologación del método de cálculo, a través de los resultados obtenidos con modelos conocidos como "CMIP6". Enfatizó en el hecho de que, en su opinión, Chile es un excelente laboratorio natural para estudiar hidrología, precisamente por la diversidad de sus paisajes. Concluyó advirtiendo sobre las dificultades de determinar un modelo que sea el mejor para todo y lo propio, respecto a disminuir la dispersión en las proyecciones de cambio climático.

La señora Susana Fischer, Ingeniera Agrónomo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Magíster y Doctora en Ciencias Mención Producción Vegetal, Universidad de Concepción, es una destacada especialista en horticultura general y horticultura protegida. En su exposición se refirió a tecnología y adaptaciones propuestas para el cambio climático en la agricultura, presentando una detallada descripción de los procesos tecnológicos que ha investigado en la Universidad de Concepción, orientados a la eficiencia y al control en línea de enfermedades y plagas. Un interesante aporte de sus investigaciones corresponde al uso de nanopartículas y nanofertilizantes, lo que es de gran ayuda para controlar las deficiencias nutricionales que, en pequeñas cantidades, no se pierde.

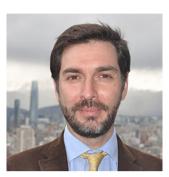
Se incluyen en esta edición, las entrevistas a los destacados ingenieros señores Patricio Aceituno Gutiérrez y Sebastián Bernstein Letelier, en conformidad al rol del Instituto de contribuir a la preservación de la historia de ingenieros destacados y de la Ingeniería.

PREVENCIÓN Y PERSECUCIÓN EFECTIVA DEL DELITO

EXPLORANDO EJEMPLOS EXITOSOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE BASE CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA







Sr. Daniel Johnson.



Sr. Michel Jorratt.



Sr. Richard Weber.

El día martes 26 de marzo de 2024 —vía zoom—, ante una gran asistencia se realizó la conferencia "Prevención y Persecución efectiva del delito. Explorando ejemplos exitosos para la implementación de estrategias de base científicotecnológica". Esta conferencia contó con la participación de los Señores Raúl Manásevich, Daniel Johnson, Michel Jorratt, Claudio Ramírez y Richard Weber que abordaron el tema de distintas miradas.

Raúl Manásevich, es PhD Universidad de California Berkeley, USA. Profesor Titular de la Universidad de Chile, quien expuso sobre "El Rol de la Ciencia, Ingeniería y Tecnología en la lucha contra la delincuencia" destacando la importancia de las ciencias, ingeniería y tecnología en la resolución de problemas asociados a la delincuencia.

Daniel Johnson es Ingeniero Civil de Industrias, Pontificia Universidad Católica de Chile. Director Ejecutivo Fundación Paz Ciudadana, quien expuso el tema "Análisis Cuantitativo: Evolución de la delincuencia en Chile", presentando información cuantitativa sobre la delincuencia, identificando tendencias y patrones a lo largo del tiempo y su posible evolución, y recomendaciones.

Michel Jorratt, Ingeniero Civil Industrial y Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad de Chile. Ex Director Nacional Servicio de Impuestos Internos y Consultor. Su presentación se basó en el Análisis de las entidades en Chile que manejan información relevante sobre la compra y venta de activos vinculados a la delincuencia, desde una perspectiva de científico-tecnológica.

Richard Weber, PhD. RWTH Aachen, Alemania. Profesor Titular Universidad de Chile, presentando Modelos analíticos e Inteligencia artificial para determinar grupos y estructuras criminales. Experiencias en el desarrollo de modelos analíticos e inteligencia artificial que utilizan tecnología para identificar redes delictuales y patrones de comportamiento, permitiendo la detección de potenciales sospechosos.

Claudio Ramírez, Abogado y Coordinador Nacional del Sistema de Análisis Criminal y Focos Investigativos de la Fiscalía Nacional, comentando la utilidad que ha tenido para su trabajo la investigación y desarrollo que ha hecho el grupo de Richard Weber.

A continuación, sus presentaciones.

Sr. Juan Carlos Barros, Presidente.

—Buenas tardes en nombre del Instituto de Ingenieros. En mi rol de presidente les quiero dar la más cordial bienvenida a esta conferencia que hemos llamado "Prevención y Persecución Efectiva del Delito: Explorando ejemplos exitosos para la implementación de estrategias de base científico-tecnológica".

El Instituto de Ingenieros de Chile es una organización que reúne a profesionales de la ingeniería de diferentes disciplinas con el objeto de promover el desarrollo tecnológico, científico y social del país a través de actividades como estas: conferencias, seminarios, comisiones de estudio. A través de estas actividades, lo que busca el Instituto es fomentar el intercambio conocimiento y experiencias entre sus miembros, además contribuir al avance de la ingeniería en Chile.

En los últimos años, nos hemos visto enfrentados a desafíos significativos en materia seguridad pública, con un aumento en la incidencia de delitos y delitos cada vez más graves. Por ello, se requieren otro tipo de medida y otro tipo de respuesta, que incluyen no solamente las medidas tradicionales de seguridad, sino que también el uso de tecnología y conocimiento especializado. Este es un problema que no es exclusivo en Chile. Enfrentamos problemas similares en todo Latinoamérica.

A raíz de ello, hemos estimado conveniente invitar a diferentes academias de ingeniería de la región y también a la América Society of Civil Engineers (ASCE) que distribuyó nuestra invitación a esta conferencia a todos sus asociados en Latinoamérica. Hemos hecho invitaciones a la Academia Nacional de Ingeniería de Uruguay, a la Academia Nacional de Ingeniería de Argentina, a la Academia de Ingeniería de España y a la Sociedad Panameña de Ingenieros y Arquitectos.

También a UPADI, FMOI, a la Sociedad Ingenieros Civiles Latinoamericanos.

A raíz de esta difusión que hemos hecho, se ha logrado la inscripción de más de 100 personas, que vienen de nueve países de habla hispana: México, Guatemala, Brasil, Perú, Panamá, Uruguay, Costa Rica, España y Portugal. Además, nos han confirmado su participación funcionarios y representantes de Municipalidades de: Providencia, Ñuñoa, Lo Barrenechea y Estación Central.

Especial agradecimiento queremos hacer a REUNA quien hace posible la transmisión de esta conferencia.

Sr. Raúl Manásevich.

-Muchas gracias señor Presidente.

Hablar sobre "El rol de la ciencia ingeniería y tecnología de la lucha contra la delincuencia", y pensar estas cosas, inevitablemente uno quiere poner estabilidad a través de actividades que uno mismo ha desarrollado. Déjenme comenzar diciendo, que la conexión entre Ingeniería y seguridad no es nueva. Ya alrededor de 2008 en la FCFM se formó un grupo multidisciplinario interesado en aplicar economía, ingeniería, estadística y matemáticas a la seguridad. Este grupo, a instancias del Subsecretario del Interior de esa época, paso a ser el Centro de Análisis y Modelamiento de la Seguridad. Este, originalmente estaba interesado en hacer investigación en seguridad, es decir hacer papers, así muy pronto gano un anillo de investigación por 5 años y con un presupuesto muy generoso el cual, además de realizar investigación, le permitió a ese grupo establecer relaciones con importantes centros de Investigación en USA y el Reino Unido. Entre estos el tenemos el Jill Dando Institute of Security and Crime Science, del University College of London. Este instituto, de larga tradición, tenía algo en común con el CEAMOS, la de ser una unidad académica dedicada a la seguridad (investigación y proyectos) dentro de una Facultad o Escuela de Ingeniería.

Entre las múltiples acciones que hizo el CEAMOS, hay dos que me gustaría destacar: comenzando por la Primera Cumbre de Análisis Criminal Científico en el año 2014, organizada conjuntamente por CEAMOS y Carabineros de Chile. Asistieron renombrados especialistas en Seguridad, como Jeff Branthingam de UCLA, Shane Johnson del Jill Dando, Eric Pizza de John Jay College of Criminal Justice y varios otros. Esta cumbre fue inaugurada por la actual rectora del Universidad de Chile, Rosa Deves, pro-rectora de la Universidad en ese tiempo.

En esta cumbre se expusieron temas de análisis criminal cuantitativos que estaban de punta y en particular se discutieron en detalle tres sistemas de predicción del delito Predpol, Predictive Policing (Jeff Branthingam), Promap (Shane Johnson) y RTM, Risk Terrain Modeling (Eric

Pizza). ¿Por qué mencionar estos sistemas de predicción? Respuesta, porque Carabineros quería tener un sistema moderno de predicción del delito y era el momento de aprovechar esta cumbre para estudiar estos softwares y ver cómo funcionaban.

Bueno ninguno de los mencionados hizo el predictor para Carabineros si no que lo hizo CEAMOS, de la FCFM de la Universidad de Chile. Las razones son varias, entre ellas, precio, manejo confidencial de datos, y confianza de que un software de este tipo se podía hacer en Chile. CEAMOS eso si ya había evolucionado hacia los proyectos en seguridad (difíciles) en que estuviera involucrada la Ingeniería. Y así aterrizamos en la segunda acción que quería mencionar, el predictor de delitos (de mayor connotación social), que se entrega a Carabineros a fines del año 2016 y que entiendo sigue en uso y funcionando bien según me han dicho desde Carabineros. Este proyecto que lo miramos en CEAMOS como un proyecto de Ingeniería fue por lo tanto entregado con una capacitación de su uso y mantención y probables extensiones.

Pero las cosas han cambiado y mucho. La seguridad tiene una componente muy importante y que es su variabilidad en el tiempo, abreviadamente podemos decir es una función del tiempo, con muchos parámetros y que, por lo tanto, es difícil o imposible de conocer.

Es así como los delincuentes saben muy bien cómo cambiar de especialidad y como trasladarse, es decir cambiar de lugar. Más aun, en nuestro país han aparecido nuevos y dramáticos tipos de delito que nos llaman a todos a cooperar para que este cáncer no sea terminal.

La tecnología ayuda, pero esto es para ambos lados, para las fuerzas de orden y para los delincuentes, o Uds. creen que los delincuentes no usan Google maps, por ejemplo, para estudiar con detalle algunas zonas que les interesan y las posibles vías de escape.

El predictor, para mencionar un ejemplo, es una gran ayuda de la ingeniería al problema, indispensable diría yo, y como cualquier obra de ingeniería debe ser mantenida y actualizada en el tiempo para no disminuir su eficiencia. Sin embargo, la tecnología por más moderna que sea, ej. usando inteligencia artificial, ciencia de manejo de datos o cualquier otro método sofisticado, no es toda la colaboración que la ingeniería puede aportar a la seguridad.

Más fundamentalmente, desde mi punto de vista, esta contribución viene dada primariamente por la gran cantidad de fenómenos que conocen los ingenieros en diversos ámbitos de la ingeniería, la física e incluso la biología, y que en innumerables situaciones enfrentados al problema se manifiesta simplemente diciendo: esto se parece a algo que conozco en... y comúnmente es el punto de partida para explicar el nuevo fenómeno y después aplicar toda la tecnología que se pueda para resolverlo. Se tiene, eso sí, que respectar las propiedades del fenómeno en estudio, en este caso la ciencia del análisis criminal.

Algo como eso hicimos para el predictor, ahí hubo un matrimonio entre esta ciencia de la ingeniería y la información que venía del análisis criminal como por ejemplo los conceptos de victimización repetida y cercana en el análisis criminal.

Fue interesante, por ejemplo, poder comprobar de los datos que nos proporcionó Carabineros como se verificaban ambos conceptos experimentalmente y después usarlos para el software que fue el predictor.

Como decía, las cosas han cambiado y estamos en una nueva problemática delictual mucho más dura que la que teníamos cuando el predictor se hizo. Hay delitos nuevos muy peligrosos para una democracia de los cuales no sabemos la dinámica y peor aún no sabemos su evolución, sabemos aproximadamente como ha sido en otros países, pero obviamente no será igual aquí.

Preocupados por todos estos acontecimientos el Instituto quiso formar una segunda comisión de seguridad. Hace algún tiempo funcionó una primera comisión de seguridad del Instituto presidida por nuestro querido Sergio Bitar y que contó con toda la ayuda del CEAMOS y de Paz Ciudadana, que, como lo ha estado haciendo desde hace tanto tiempo, es un baluarte nacional en la lucha de la delincuencia y que ahora tiene un director ejecutivo ingeniero.

El trabajo de esta primera comisión se concretó en una publicación del Instituto: "Una mirada estratégica a la seguridad ciudadana, aportes desde la Ingeniería", que estoy seguro muchos de ustedes han leído.

Esta segunda comisión de seguridad, que presido, de reciente formación, necesita ir más allá de la gran tarea que hizo la primera. Esperamos poder hacer un diagnóstico de la situación actual y propuestas de acción, desde la ingeniería, lo más pronto posible. La gravedad de lo que vemos y leemos casi a diario lo amerita.

Como presidente de esta comisión les puedo decir que sus miembros forman parte de la elite del conocimiento en estos temas, sin duda es una comisión de lujo. La tarea por delante es muy difícil esta vez, pero espero que saldremos adelante.

Muchas gracias.



—Muchas gracias. Agradezco al Instituto de Ingenieros de Chile por la invitación. Hoy muchos ingenieros trabajamos en el desarrollo de políticas públicas, un ámbito que hace 30 años, cuando entré a estudiar ingeniería, no era tan activo y que, aunque aún necesita estar más presente en la formación de las nuevas generaciones de ingenieros, nuestra disciplina se está haciendo un aporte importante desde una mirada que pone el foco en el correcto diagnostico los problemas sociales, en encontrar soluciones pertinentes y en evaluar que esas soluciones logren los impactos requeridos.

Con la experiencia en Fundación Paz Ciudadana, buscando implementar políticas públicas efectivas para mejorar el problema de la inseguridad en Chile, he podido evidenciar la urgente necesidad de que las políticas públicas implementadas en materia de seguridad cumplan con los criterios básicos esperables: un diagnóstico certero en que se evidencia un problema y se le ponga métrica, que se implementen políticas públicas con evidencia de éxito en otros lugares y que se evalúe el resultado de la intervención. Si bien la innovación es importante, en materia de seguridad preferimos que no arriesguemos recursos y tiempo en acciones que pueden no tienen resultados positivos.

Frecuentemente en Chile, los programas de seguridad no son bien evaluados, no porque no cumplan el objetivo sino porque sus objetivos no están correctamente definidos y, por lo tanto, no es posible medir su cumplimiento.

Desde esta visión crítica inicial, estoy seguro que la ingeniería puede y debe hacer un aporte para solucionar los graves problemas que estamos viviendo hoy día en inseguridad (Lámina A1).



Lámina A1

1. El problema (delitos e inseguridad)

Para mirar el problema de inseguridad desde los datos, vamos a explorar algunas estadísticas.

Este es el índice que mide la Fundación Paz Ciudadana hace más de 20 años. Fue el primer índice de victimización de Chile. Es una encuesta que se aplica a una cantidad representativa de personas de todas las capitales regionales del país

Si bien los primeros años, esos 4 puntos rojos de la izquierda, estaban bajo el 35% de familias que declaraban que habían sido víctima de robo o de intento de robo en los últimos 6 meses, que es lo que preguntamos en el instrumento, después de eso se produce un largo periodo en que son muy escasos los puntos que están sobre o bajo esta franja entre el 35 o el 40% de familias víctimas, mostrando una gran resiliencia de la curva a mantenerse en ese rango.

Siguiendo el análisis de los años siguientes y a pesar de la percepción de inseguridad que tenemos hoy día, la estadística nos muestra que la pandemia, en el año 2020, hizo bajar de manera importante las familias víctimas a un 27%, lo que se explica porque la mayoría de los delitos ocurre en la vía pública y si tenemos menos personas circulando por la ciudad producto de las restricciones a la movilidad que impuso el COVID, hay menos posibles víctimas. Adicionalmente los delitos que ocurren en las viviendas que, si bien son menos, suceden normalmente cuando las viviendas se encuentran sin moradores, condición mucho más frecuente en ese período por la misma razón anterior

Finalmente, si analizamos los últimos tres años que siguieron a ese año 2020, vemos que la curva empezó a aumentar en línea con la recuperación de la movilidad en la ciudad,

llegando al año 2023 con un 37%, nuevamente un punto dentro de la franja entre el 35 a 40% (Lámina A2).

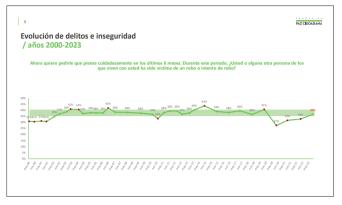


Lámina A2

Entonces, si la cantidad de personas víctimas de los delitos que nosotros preguntamos, que son robo o intento de robo, no parece haber variado de manera relevante los últimos años, ¿por qué tenemos este nivel de temor tan alto?

Esta lámina muestra la proporción de personas que se clasifican con un nivel alto en el índice de temor que se construye a partir de otras 7 preguntas del mismo instrumento anterior.

Vemos que el número de personas que quedan en el nivel de temor alto ha ido aumentando en los últimos 4 años de manera muy relevante, llegando a 31% en el año 2023 que es valor más alto que hemos tenido en toda la serie histórica que se mide desde el año 2000 en adelante, hace ya 23 años (Lámina A3).

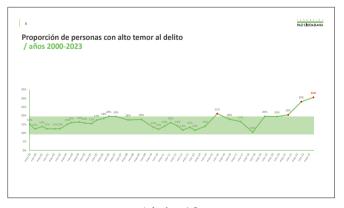


Lámina A3

Buscando entender la aparente disociación entre familias víctimas de delitos y temor, podemos ver que en Chile ha habido un incremento en los homicidios, como nos muestra esta lámina (Lámina A4), en los últimos años.

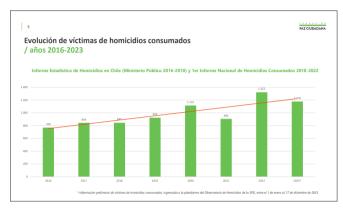


Lámina A4

Entonces, podríamos pensar que, si bien la posibilidad de ser víctima de delito no ha cambiado de manera relevante, la probabilidad de ser víctima de delitos más dañinos es percibida como mayor por la ciudadanía.

Si bien los homicidios aún son delitos pocos frecuentes en Chile comparados con países vecinos, tenemos una evolución creciente en estos delitos que puede estar aumentando el nivel de temor. Es importante tener en cuenta que en términos de homicidio Sudamérica tiene tasas altas si lo comparamos con Europa, Asia y Oceanía.

Si vemos la lámina siguiente (Lámina A5), los imputados desconocidos en homicidio también han ido aumentando de manera importante. En el año 2010 teníamos un 15% de imputados desconocidos en causas por homicidios, teniendo en la mayoría de los casos un sospechoso identificado de haber cometido el homicidio. Hoy en el 39% de las causas no tenemos un imputado conocido, es decir, aunque aún en la mayoría de las cusas hay un sospechoso identificado, se ha más que duplicado la cantidad de homicidios en los que no sabemos quién lo puede haber cometido.

Esto normalmente se relaciona con un cambio de la tipología delictual con un aumento de los homicidios planificados.

Antes los homicidios estaban en su mayoría relacionados con violencia de género o riñas, no planificados y producto de

situaciones del momento, normalmente eran cometidos bajo la influencia del alcohol o las drogas y con armas blancas u objetos contundentes. Hoy los homicidios han evolucionado a hechos planificados y por lo tanto con mayor dificultad para conocer quien los cometió. Hay un aumento en la participación de armas de fuego y una menor incidencia del consumo de alcohol y las drogas al cometerlos.



Lámina A5

Aunque aún el número de homicidios no planificados es aún más relevante, el mayor crecimiento que hemos tenido está dado por delitos de esta nueva tipología.

Mirando otros delitos violentos vemos que el reporte de secuestros en Chile también ha aumentado de manera importante, en particular el año 2022 y si bien no son tan relevantes en cantidad, si los comparamos con la cantidad total de delitos en Chile, es un delito que genera enorme daño.

Una aclaración relevante, en esta estadística no se muestran solo los secuestros extorsivos, también se clasifican como secuestro casos, por ejemplo, en que algunos padres no devuelven a un menor al otro en regímenes de visitas o custodias compartidas (Lámina A6).

De "carabineros en cifras", anuario que presenta Carabineros todos los años, vemos que los vehículos con encargos por robo también han aumentado, aunque no de manera relevante, aunque vemos un año 2022 muy alto, pero puede esconder un rebote de cifras muy bajas el año 2021 (Lámina A7).

Si vemos la lámina siguiente (Lámina A8), la capacidad de carabineros de recuperar los vehículos que han sido encargados ha ido bajando de manera sostenida, de un 80% en

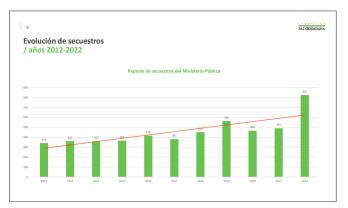


Lámina A6

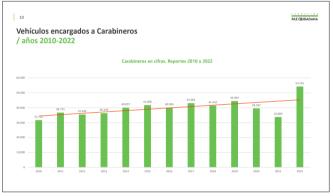


Lámina A7



Lámina A8

el año 2012 a cerca de un 50% el 2022. Esto da cuenta de una transformación en el fin último del robo de vehículos. Antiguamente una parte importante de este tipo de robos tenían como objetivo contar con un medio de transporte para cometer otros delitos, por ejemplo, los alunizajes que eran casos muy frecuentes, también el robo de cajeros

automáticos, incluso los llamados tours delictuales en que se ocupaba el vehículo para continuar robando por las calles; en todos esos casos los vehículos quedaban abandonados después en la vía pública y eran recuperados por la policía.

Hoy día esa baja en la recuperación de vehículos da cuenta de una capacidad de reducirlos y por lo tanto de la existencia de una organización informal que logra desmantelar los vehículos y venderlos por partes o exportarlos a países fronterizos con sistemas más laxos de control de los vehículos que circulan, o a reinscribirlos en el sistema nacional por ejemplo mediante clonación.

Todas estas son cifras nos muestran un contexto de criminalidad más compleja, como bien lo decía Raúl Manásevich en la introducción y por lo tanto requiere una manera de intervenirla diferente.

Si nos comparamos con otros países a través de instrumentos como el Barómetro de las Américas de LAPOP, que es una encuesta de victimización que muestra el porcentaje de familias afectadas por delitos, vemos que en Latinoamérica tampoco ha habido incrementos tan significativos, moviéndose entre el 19%, el año 2014 y un 25% los años 2016/2017, manteniéndose en un 23% el 2023 (Lámina A9).

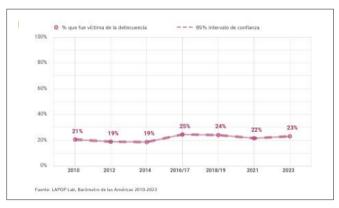


Lámina A9

Al analizar la situación por país en Latinoamérica, vemos que Chile se encuentra en el nivel central de países en el porcentaje de familias que declara haber sido víctimas de la delincuencia, la tasa mayor la tiene Ecuador con un 36 y Argentina, Nicaragua, Perú, Bolivia le siguen con las tasas más altas. Chile tiene un 23% (Lámina A10).

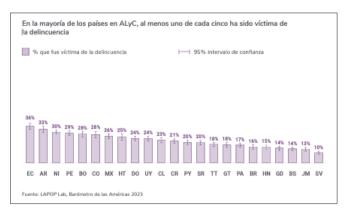


Lámina A10

En otro ámbito de análisis, podemos revisar la pregunta ¿Hubo un empleado público que le solicitó soborno? Para Latinoamérica, aquí vemos que el valor 2023 se mantiene en el rango histórico de la serie con un 7%, después de un 10% en el año 2021, probablemente también afectado por la pandemia que otorgó oportunidades para la corrupción (Lámina A11).

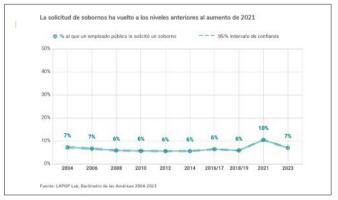


Lámina A11

Al abrir la serie por país vemos que Chile tiene una de las tasas más bajas, solo aventajado por Uruguay, en los encuestados que responden que han sido víctima de una solicitud de soborno por parte de un empleado público.

Hemos visto una variación en los delitos que hace pensar en un aumento de la criminalidad organizada; aumento en los delitos de homicidio que se han tornado más complejos, aumento en el uso de armas de fuego y mayor capacidad de reducción de vehículos, entre otros.

Una condición para el desarrollo de organizaciones delictuales es la posibilidad de generar vínculos con empleados públicos que les permita no ser perseguidas y obtener los permisos que requiera su operación.

El factor protector que tiene Chile en los bajos niveles de corrupción es muy relevante para limitar el desarrollo mayor de organizaciones delictuales (Lámina A12).

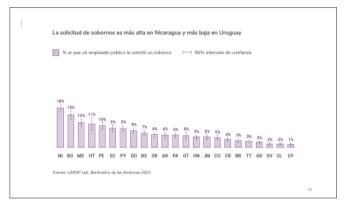


Lámina A12

Ipsos por su parte, realiza encuestas en diversos países (29) permitiendo comparar aspectos de la inseguridad. En este gráfico vemos la percepción de cambios de la delincuencia en el barrio donde la parte azul de cada barra muestra el porcentaje de personas que indican que ha aumentado. En la barra más a la izquierda vemos que el promedio mundial de quienes consideran que ha aumentado la delincuencia en su barrio de los 29 países encuestados es un 34% y Chile es el país en que un mayor porcentaje de la población declara que ha aumentado alcanzando un 68%, exactamente el doble del promedio de los países encuestados (Lámina A13).

En este gráfico vemos que, en la misma encuesta de la lámina anterior, Chile es el segundo país después de Tailandia en que las familias más declaran que han visto y escuchado acerca de grupos o personas relacionadas con el tráfico de drogas. Y también es el primer país que declara en que ha visto vandalismo en la vía pública (Lámina A14).

Y por último asociado a lo visto en las láminas anteriores, Chile tiene 59% de encuestados qué opinan que el gobierno debería centrarse, principalmente en combatir el crimen, 21 puntos porcentuales sobre el país que le sigue que es Perú con un 38% (Lámina A15).

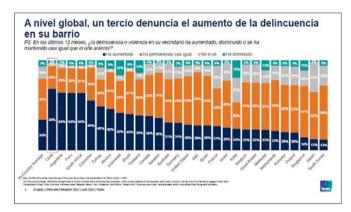


Lámina A13

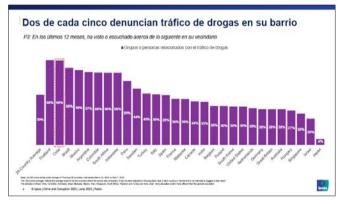


Lámina A14



Lámina A15

2. Desde dónde abordar los delitos frecuentes

En resumen, hemos visto que, si nos comparamos a nivel internacional, tenemos una tasa de delitos que está en el promedio de Latinoamérica, pero con niveles de temor mucho más altos que el de otros países del mundo.

Viendo estadísticas se podría pensar que nuestro temor no está suficientemente justificado por el riesgo real de ser víctima del delito y se podría pensar que no es pertinente que lo abordemos directamente, sin embargo, el temor puede generar incluso más daño que el delito mismo.

En el índice Paz Ciudadana también preguntamos por cambios de comportamientos por temor a ser víctimas de delitos y más del 70% de los chilenos responde que dejó de salir a ciertos lugares, que dejó de salir a ciertas horas y que aumentó la seguridad en sus casas, invirtiendo montos relevantes en protecciones, portones eléctricos, cámaras y sistemas de alarma, entre otros.

También el temor genera cambios en los recorridos para llegar a su trabajo, cambian los medios de transporte incluso. En particular las mujeres se sienten más inseguras que los hombres y especialmente en el transporte público.

Es por lo tanto fundamental pensar en políticas públicas que aborden el delito y la inseguridad, pero también el temor de la ciudadanía.

Ahora, ¿desde dónde podemos abordar los delitos? Haciendo un esquema muy simple que se basa en el triángulo del delito, podemos intervenir en la víctima, en la persona motivada a delinquir o en la situación en la cual se produce el delito, desde este análisis podemos establecer también cinco tiempos de la acción pública para hacer frente al delito.

El primero, es la Prevención Temprana y lo es cuando intervenimos antes de que un niño(a) o joven cometa su primer delito. Para lograrla debemos identificar quienes concentra factores de riesgo de involucrarse en conductas delictuales y tratarlos oportuna y pertinentemente.

En segundo lugar, podemos actuar en base a prevención situacional que busca modificar el entorno donde ocurren os delitos haciéndolo más seguros, iniciativas típicas de este grupo son el patrullaje preventivo, la iluminación, la presencia de personas pro sociales en las calles, etcétera.

En tercer lugar, una vez que ocurrió el delito, debemos perseguirlo.

Luego, y solo si logramos identificar y probar la comisión de un delito, el sistema judicial tiene que disponer una condena. Esta tiene muchos fines, desde disuadir a otras personas que cometan delitos, incapacitar al hechor de cometer otros delitos, restablecer la justicia social y la reinserción.

Finalmente podemos realizar acciones para que, una vez cumplida su condena, la persona no vuelva a cometer delitos, esto se logra a través de la Reinserción social (Lámina A16).

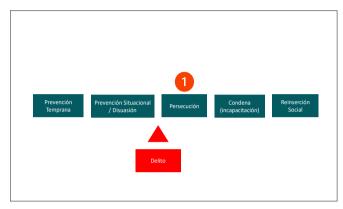


Lámina A16

Primero, centrémonos en la persecución. La posibilidad de captura de una persona que comete un delito es relativamente baja, alrededor de un 6%. Por su parte, el sistema conoce alrededor del 60%, los delitos que son los efectivamente denunciados, entonces la probabilidad de captura en cada delito es de alrededor de un 4%.

Si una persona es prolífica y comete dos delitos, la probabilidad de ser detenido en alguno de ellos es mayor y esta va a ir aumentando rápidamente. Así, una persona que comete 20 delitos tiene un 71% de probabilidad de ser identificado en alguno de ellos. Una persona que comete 30 un 84%. Una persona que comete 40 delitos ya tiene un 92% de probabilidades de ser detenido en alguno de ellos. Así, hay una alta probabilidad de captura de las personas más prolíficas en cometer delitos, aunque no sabemos cuántos delitos han cometido (Lámina A17).

Entonces, la pregunta que nos podemos hacer es: si la probabilidad de identificación es alta, ¿por qué no es efectivo el sistema en controlar a través de la pena? Porque el sistema penal suele quedarse en la captura de los delincuentes más frecuentes, pero no necesariamente los más dañinos. Un delincuente no necesariamente va a generar más daño cuando cometa más delitos, sino cuando los delitos que comete son más graves. También va a ser más dañino cuando es el

organizador de una banda delictual que recluta a jóvenes para que cometan delitos para él.

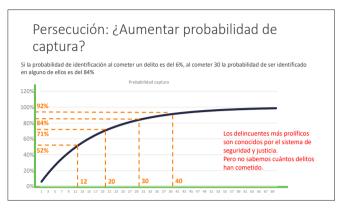


Lámina A17

Entonces, es necesario priorizar la persecución penal escalando en la estructura delictual e identificando los delincuentes que generan mayor daño, pero necesitamos herramientas que nos permitan identificarlos.

En esta lámina hemos ordenado un grupo de delitos por su frecuencia. Si bien los hurtos son los delitos más frecuentes, no pareciera ser el más dañino. El robo con violencia, que está en segundo lugar por frecuencia, pareciera ser mucho más dañino que el hurto. Y en el otro extremo están los homicidios que no alcanzan a marcar un 1% del total de delitos por frecuencia (Lámina A18.



Lámina A18

Para poder ponderar correctamente los delitos, en fundación Paz Ciudadana creamos la metodología de daño del delito que aplica un factor de daño a cada delito para poder sumarlo y agruparlos. Como ponderador utilizamos el código penal, asignando a cada delito la pena mínima establecida en él, así obtenemos una estimación de daño establecido como los días de condena probables que tengan sumados una cierta tipología delictual. Así son los robos con violencia los que alcanzan el mayor nivel de daño que es la tipología donde se agrupan los portonazos y encerronas lo que sintoniza con la percepción de inseguridad de la ciudadanía (Lámina A19).



Lámina A19

En segundo lugar, de daño quedan clasificados los robos en lugar habitado. En tercer lugar, los robos de objetos desde vehículos y recién en el cuarto lugar aparecen los hurtos que son los delitos más frecuentes.

Este ejercicio muestra la necesidad de dotar al sistema de persecución penal de herramientas que nos permitan focalizar los recursos que son evidentemente insuficientes para perseguir todos los delitos.

En reinserción social el fin es disminuir la probabilidad de reincidencia. Las estadísticas más recientes, muestran que sobre el 50% de quien cumple condena vuelve a ser condenado antes de tres años. A pesar de las dificultades que tenía el sistema para condenar. Y sobre el 70% vuelve a tener contacto con el sistema de justicia en este mismo periodo.

¿Por qué el sistema no es efectivo en reinsertar?, por varias causas: una, no tener la posibilidad de segregar en las cárceles y no contar con espacios adecuados para impartir tratamientos que solucionen las causas de la comisión de delitos. También porque los tratamientos están mal focalizados y mal evaluados (Lámina A2O).

Reinserción: Disminuir probabilidad de reincidencia

- Reinsertamos muy poco: Sobre el 50% de quienes cumplen condena vuelven a ser condenados antes de 3 años y sobre el 70% vuelve a tener contacto con el sistema de justicia.
- · Reinserción imposibilitada por:
 - · Incapacidad de segregar en cárceles
 - Falta de espacios adecuados en cárceles para tratamientos
 - Tratamientos mal focalizados (Cherry Picking)
 - · Falta de profesionales para tratamientos.
 - Corrupción de gendarmes
 - · Falta oportunidades post condena (incluso sistema público)

Lámina A20

En el tercer lugar podemos intervenir a través de la prevención situacional y la disuasión. la prevención situacional tiene un impacto muy positivo, en particular los patrullajes en áreas priorizadas.

Cuando hablamos de la reforma a carabineros, es fundamental que evaluemos cuáles son las funciones que cumplen hoy día las policías, en particular carabineros, para las que logran mayor beneficio en la disminución de delitos como patrullar, que lamentablemente suele ser una de las actividades más castigadas.

La iluminación tiene efectos relevantes, estudios demostraron que la iluminación disminuye los delitos, pero tanto de día como de noche; porque el beneficio no solo lo genera la mayor visibilidad nocturna, sino la percepción que tiene la ciudadanía de que el espacio ahora es seguro; entonces lo visita y la vigilancia natural de las mismas personas que usan los espacios públicos, es uno de los mejores inhibidores en la comisión de delitos.

Las cámaras son útiles, pero en espacios cerrados y en particular en los estacionamientos.

El efecto globo es acotado y no contrarresta el beneficio logrado en particular en los patrullajes, ha medido que, si bien se trasladan en alguna medida, se trasladan mucho menos que el impacto positivo que tiene la disminución de delitos. Y ya la habíamos dicho siempre se debe definir el efecto que se quiere conseguir con las medidas de prevención situacional (Lámina A21).

Y, por último, la condena como incapacitación. Tenemos la percepción de que en Chile se condena poco, sin embargo,

Prevención Situacional (Disuasión): Disminuir probabilidad de delito en un lugar determinado y su entorno

- Prevención situacional si tiene impacto, en particular patrullajes e iluminación cuando son focalizados donde se concentran los delitos y el
- Efecto globo es acotado y no contrarresta beneficio logrado.

Lámina A21

Chile está en el lugar 48 de 192 países medidos con las tasas de prisionización más altas, y en el cuarto lugar de los 37 países de la OCDE, solo Estados Unidos, Turquía e Israel tienen tasa de prisionización más altas que Chile. Si no es cierto que Chile encarcele poco, debemos ver a quiénes estamos encarcelando. ¿Estamos realmente llevando a la cárcel a las personas que generan más daño y por lo tanto es más pertinente incapacitarlas?

El aumento de penas por su lado, tiene un efecto disuasivo, pero es muy limitado sí no hay aumentos en la probabilidad real de capturas.

Debemos considerar también que las penas privativas son relativamente cortas, en promedio 4,7 años y esto no es algo anormal y que las cárceles no están logrando ser lo incapacitadoras que eran en el pasado. El aumento de los delitos cibernéticos y la capacidad de ejecutarlos a través de la cárcel, están limitando hoy día el efecto incapacitador que está institucionalidad tiene. Y por lo tanto tenemos que mirar con prudencia, la condena y la incapacitación como la solución (Lámina A22).

Por último, la prevención temprana. Las carreras delictuales se inician tempranamente, entre los 12 y 14 años y terminan también tempranamente. Un delincuente "sienta cabeza" cuando llega los 35 o 40 años, normalmente por un evento significativo en su vida que los hace cambiar de actitud: matrimonio, tener hijos, un riesgo de vital, etc.; o la condición física ya no les permite cometer algunas tipologías delictuales. Entonces, si los años de comisión de delitos son entre 20 y 25 años. Una vez iniciada las carreras delictuales, van aumentando en frecuencia y en violencia hasta la adultez.



Lámina A22

En la edad juvenil, los jóvenes suelen ser más prolíficos y más violentos porque tienen un menor control de impulsos y tienen la necesidad de validarse con sus pares.

Es así que prevenir el inicio de una carrera delictual, además de ser más fácil que interrumpirla, puede evitar 25 años de comisión de delitos. Cuando en cambio logramos reinsertar a una persona de 35 años, por ejemplo, probablemente vamos a evitar solo un par de años de comisión de delitos.

Entonces ¿dónde deberíamos poner el esfuerzo? mirado también desde maximizar el impacto, creemos que en la prevención temprana. Entonces, ¿qué recomendamos? Implementar programas focalizados en las personas que concentran factores de riesgo. En la prevención temprana no hay que pensar, primero, que el resultado es de muy largo plazo. Porque si evitamos hoy día que un niño inicie una carrera delictual, estamos evitando delitos mañana. No es muy costoso, porque también es si lo hacemos focalizado en las personas que concentran factores de riesgo es algo absolutamente abordable y es muy efectivo.

También la prevención situacional y disuasión son muy relevantes, en particular en patrullajes preventivos en áreas donde se concentra el delito.

En persecución tenemos que fortalecer la investigación y priorizarla en los delitos que concentran daño y agruparlas también. Perseguir todos los delitos, muchas veces es mucho menos efectivo que sí logramos tener herramientas que nos permitan agrupar causas y aquí Richard nos va a explicar todo el trabajo que ha hecho en esta materia.

Debemos avanzar también en incapacitación efectiva en las cárceles utilizando tecnología que ya se encuentran disponibles.

Finalmente, en reinserción social, tenemos que generar las condiciones para fortalecer los programas, pero focalizados en las causas de la conducta delictual (Lámina A23).

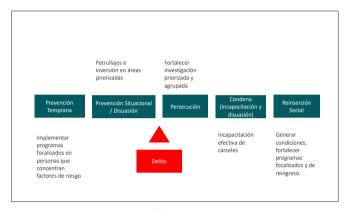


Lámina A23

3. Cambios institucionales en desarrollo en Chile

En esta lámina intenté esquematizar los ámbitos institucionales a través de los cuales se pueden implementar políticas públicas en seguridad: Municipios, Ministerio Público, Gendarmería, Gobiernos Regionales, PDI, Poder Judicial, Servicio de Reinserción Juvenil, Carabineros de Chile, Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, Ministerio del Interior o el ministerio de seguridad. Hoy día estamos haciendo cambios relevantes a través de la nueva ley de fortalecimiento de municipalidades en seguridad, en los Gobiernos Regionales, en Carabineros a través de su Reforma, en el nuevo Ministerio de Seguridad, en el Ministerio Público a través de la fiscalía supraterritorial y en el nuevo servicio de reinserción social juvenil. Es así que seis de las diez instituciones más relevantes en materia de seguridad en Chile estamos hoy en un proceso de reforma (Lámina A24).

Sin embargo, si este proceso de reforma no tiene una mirada sistémica y no establece la capacidad de implementar políticas públicas efectivas basadas en evidencia y midiendo sus resultados no lograremos cambios relevantes.

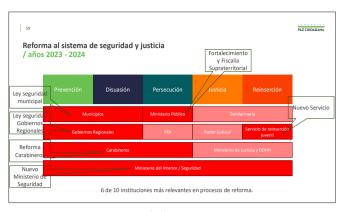


Lámina A24

También es fundamental integrar a los nuevos equipos personas con capacidades profesionales acordes a los nuevos roles institucionales y no llevar a las nuevas instituciones a las mismas personas de hoy sin evaluar sus competencias y hacer al menos capacitaciones de nivelación.

Es fundamental también desarrollar accountability, entendido tanto como responsabilización y rendición de cuentas. Si no definimos objetivos y evaluamos los resultados de las instituciones, no vamos a lograr mejorarlas.

Por último, ¿cómo medimos?, ¿qué hacemos con los resultados para generar incentivos? Incentivos profesionales alineados con la institución y con el sistema para mejorar su desempeño (Lámina A25).



Lámina A24

Muchas gracias.

Sr. Michel Jorratt.

—Agradezco la invitación al Instituto de Ingenieros de Chile. Este es un tema sin duda muy importante.

Mi experiencia en la materia tiene que ver con el ámbito tributario y podríamos ver delitos vinculados a la tributación. Me ha tocado pensar desde esta perspectiva más amplia del delito y conozco algo sobre la información que existe. Sobre la información que existe relativa a los activos y otra que puede ser útil desde las perspectivas de la persecución del delito. Si lo miramos desde la clasificación que nos proponía Daniel, decidí abordar estos cuatro temas: Disponibilidad de información; Acceso a nueva información que puede ser relevante para las empresas en general, pero en particular para impuestos internos; el Cómo se usa esa información, algunos ejemplos de eso y, por último, poder Compartir información entre todas las entidades que están vinculadas de alguna manera a la persecución del delito (Lámina B1).

Temas:

- 1. Disponibilidad de información
- 2. Acceso a nueva información
- 3. Uso de la información
- 4. Compartir información

Lámina B1

1. Disponibilidad de información

Respecto a la Disponibilidad de información, no voy a abordar aquí a todas las entidades que pueden disponer de información, que pueden ser muchas, sino que me estoy centrando en tres que están más ligadas al mundo del Ministerio de Hacienda. Comienzo con el Servicio de Impuestos Internos (SII). Sin duda que impuestos internos tiene mucha información que puede ser muy útil para perseguir el delito. Estoy mencionando acá la que me pareció más relevante, desde esta perspectiva. A modo de ejemplo, impuestos internos tiene el catastro de bienes raíces y también recibe información de los notarios y

conservadores sobre todas las transferencias e inscripciones de bienes raíces que existen en el país. Tienen el Registro de Automóviles tanto en stock como transferencias; recibe mucha información de Inversiones Financieras: fondos mutuos. fondos de inversión, compra y venta de moneda extranjera, intereses bancarios, etcétera; información de Transferencia de Fondos desde y hacia el exterior, cuando sea realizada a través de instituciones bancarias; todo lo que es Compra y Venta de Moneda Extranjera y que también puede ser muy relevante; la Documentación Electrónica, lo que se conoce como factura electrónica. Tengo más adelante unos ejemplos de cosas que está haciendo impuestos internos con las facturas electrónicas, en donde uno ve que puede ser un elemento muy importante para detectar ciertas figuras delictivas. Entonces, yo veo al servicio de impuestos internos como uno de los actores bien relevantes en términos de poder aportar información o poner el análisis de esa información para ser aprovechada o utilizada en la detección del delito (Lámina B2). aparente. Y es la misma UAF que a través de su normativa, define las situaciones especialmente peligrosas o que hay que tener en consideración como indiciaria de operaciones o transacciones sospechosas (Lámina B3).

1. Disponibilidad de información

Información relevante en la UAF

- · Recibe información de "operaciones sospechosas" (ROS)
 - Obligados a informar: entidades del mercado financiero; fabricación y venta de armas; casinos de juegos; hipódromos, clubes de caza, pesca y tiro; comerciantes de joyas; notarios; conservadores; vendedores de vehículos: etc.
 - Operación sospechosa: todo acto, operación o transacción que, de acuerdo con los usos y costumbres de la actividad de que se trate, resulte inusual o carente de justificación económica o jurídica aparente.
 - La UAF define las situaciones que especialmente habrán de considerarse como indiciarias de operaciones o transacciones sospechosas, en sus respectivos casos.

Lámina B3

Además, hay obligación de informar a la UAF, estas mismas entidades, de cualquier operación que se realice en efectivo por montos superiores a \$10,000 dólares. Eso que se conoce como el ROE y entonces entregan informes mensuales, trimestrales o semestrales; y también se informa el hecho negativo, el hecho de que no existan esas transacciones, también existe obligación de informar de estas entidades cuando no han detectado ninguna operación superior a ese monto (Lámina B4).

1. Disponibilidad de Información

Información Relevante del SII

- · Catastro de bienes Raíces
- Transferencia e inscripción de bienes raíces (F2890, notarios y conservadores.
- · Registro de automóviles (Stock y transferencias)
- Inversiones financieras (fondos mutuos, fondos de inversión, moneda extranjera, intereses bancarios, etc)
- Transferencia de fondos, desde y hacia el exterior, realizadas a través de instituciones bancarias.
- Compra y/o venta de moneda extranjera.
- · Factura electrónica.

Lámina B2

Por otro lado, tenemos a la Unidad de Análisis Financiero (UAF) que es la entidad que está a cargo justamente de perseguir el lavado de activos y el financiamiento del terrorismo. Y como tal, tiene ciertas facultades que permiten acceder a información de las llamadas "operaciones sospechosas". Por ley, hay una cantidad grande de entidades que están Obligadas a Informar a la UAF de estas operaciones sospechosas. Son entidades principalmente del mercado financiero, pero también aquellas que fabrican y venden armas, los casinos de juegos, hipódromos y otros que se mencionan aquí. ¿Qué se entiende como operación sospechosa? Se entiende como todo acto, operación o transacción que de acuerdo con los usos y costumbres de la actividad de que se trate, resultan inusuales o carentes de justificación económica o jurídica

1. Disponibilidad de información

- Las mismas entidades deben reportar las operaciones en efectivo por montos superiores a US\$10.000 (ROE). Informe mensual, trimestral o semestral.
- Si no las hay, deben informarlo (ROE negativo). Informe mensual, trimestral o semestral.

Lámina B4

Y, en tercer lugar, tengo acá la información que comparte o que podría compartir la aduana y utilizarse para estos fines, que básicamente es toda la información de las declaraciones de importaciones y exportaciones de mercancía y que puede estar vinculados a delitos como contrabando. Esa información tiene que ver con el tipo de mercancía que se transa, las cantidades, las valoraciones, las actividades y operaciones que se realizan en las zonas francas, en que generalmente hay mucho contrabando que está vinculado a este territorio, que está amparado por una ley de zona franca. Y la Aduana también cuenta, a través de la fiscalización que realiza, con mucha información de detección de casos de contrabando, valoración de mercancías, mercancías ilícitas o de facturaciones falsas o dobles, tal como se llama. Eso es en cuanto a la disponibilidad de información (Lámina B5).

el titular tiene que responder y allí esta problema, la respuesta puede ser "autorizo" o "no autorizo", entonces claro, el titular se puede oponer y en ese caso Impuestos Internos no puede hacer nada más, salvo conseguir una autorización vía judicial. Y la paradoja es que como estamos en un mundo donde hay muchos convenios para intercambiar información que han sido promovidos por la OCDE y otros organismos internacionales, resulta que hoy día es más fácil para una administración tributaria extranjera que para el propio SII, conseguir información amparada por el secreto tributario de personas que están en Chile, porque no tiene esas restricciones (Lámina B6).

Disponibilidad de información

Información relevante de la Aduana

- · Importaciones y exportaciones de mercancías
 - · Tipos de mercancías
 - Cantidades
 - · Valoraciones de mercancías
 - · Actividades en zonas francas
- · Detección de casos de
 - Contrabando
 - · Subvaloración de mercancías
 - Mercancías ilícitas
 - Facturaciones falsas o dobles

Lámina B5

Acceso a nueva información

- Para el SII es de la mayor relevancia tener un acceso más expedito a información protegida por secreto bancario
- · Situación actual:
 - El SII notifica al banco para requerir información de persona determinada
 - · Banco comunica al titular
 - · El titular responde autorizando o denegando
 - · Si titular no autoriza, SII debe seguir la vía judicial
- Paradoja: es más fácil para una administración tributaria extranjera que para el SII acceder a información protegida por secreto bancario

Lámina B6

2. Acceso a nueva información

En segundo lugar, hay un tema de información que no está disponible, pero que se considera muy relevante en el caso de Impuestos Internos. Me refiero al acceso de información protegida por el secreto bancario. Para el quehacer diario del Servicio de Impuestos Internos, es una información que sería muy valiosa para la persecución de los delitos tributarios. Pero sin duda, esa información también sería muy valiosa, si estuviera disponible, para hacer la trazabilidad del dinero, para la persecución del delito. Entonces, quise hacer hincapié en este elemento, porque hoy día, Impuestos Internos tiene ciertas facultades para acceder a la información protegida por secreto bancario, pero bastante restrictiva. En la situación actual, Impuestos Internos debe notificar al banco para requerir información de una persona determinada; en segundo lugar, el banco debe comunicarlo al titular para informar que Impuestos Internos está requiriendo su información; en tercer lugar,

Entonces, en este ámbito, hay un proyecto de ley que se envió en enero de este año, que tiene que ver con mejorar el cumplimiento tributario. Dentro de este proyecto de ley se viene a modificar un poco esta norma de acceso a la información amparada por el secreto bancario para impuestos internos, en el sentido de invertir el orden. Es decir, si se aprobara ese cambio, serían los contribuyentes quienes deberían oponerse al levantamiento del secreto bancario por vía judicial y no al revés. Y además hay algo que es muy importante, incorpora normas para que los bancos estén obligados a informar cualquier movimiento bancario anormal, en el lapso que media entre la notificación de la solicitud de levantamiento del secreto bancario y la entrega de información. Porque hoy día lo que puede ocurrir, es que durante la realización de estos trámites que permiten acceder a información amparada por el secreto bancario, las personas pueden hacer movimientos que permitan o que eviten, que se puedan detectar estos comportamientos anormales (Lámina B7).

Acceso a nueva información

- Modificaciones propuestas en el "Proyecto de Ley que Dicta normas para asegurar el cumplimiento de las obligaciones tributarias dentro del Pacto por el Crecimiento Económico, el Progreso Social y la Responsabilidad Fiscal":
 - Serán los contribuyentes quienes deban oponerse al levantamiento del secreto bancario en sede judicial
 - Incorpora normas para informar sobre movimientos bancarios anormales entre la notificación de la solicitud de levantamiento del secreto bancario y la entrega de información.

Lámina B7

3. Uso de la información

Yo mencionaba toda esta información que tiene disponible Impuestos Internos, pero ¿cómo podría utilizarse?, ¿para qué sirve? En el ámbito de las inversiones, por ejemplo ¿cómo se usa esto desde el punto de vista tributario? Impuestos Internos construye lo que se llama un vector de inversiones. Es decir, con la información que tiene el SII, se puede calcular la inversión anual que realiza una persona, como la suma de las compras de inmuebles, las compras de vehículos, más las inversiones financieras, menos las ventas de inmuebles y las ventas de vehículos; y esa inversión se compara con los ingresos declarados. Si es que la inversión realizada no guarda relación con los ingresos que la persona obtiene, entonces se procede a citar al contribuyente para que justifique inversiones. Si no se logra justificar el cómo se hicieron esas inversiones, Impuestos Internos asume que se hicieron con rentas no declaradas y procede a cobrar los impuestos sobre esas inversiones no justificadas (Lámina B8).

Uso de la información: el caso del SII

Inversiones:

- · Se construye un vector de inversiones:
 - Inversión = compra de inmueble + compra de vehículos + inversiones financieras – venta de inmuebles – venta de vehículos
- Se compara con los ingresos declarados
- Si la inversión realizada no guarda relación con los ingresos obtenidos, se cita para "justificar inversiones".
- Si no se logra justificar las inversiones, se asume que se realizaron con rentas no declaradas y se cobran los impuestos

Lámina B8

Entonces la pregunta es: ¿uno podría usar un método como ese para detectar delincuencia o los efectos de la delincuencia, que es el incremento patrimonial? Se podría decir que sí, pues existirán registros de inversiones mayores que cero e ingresos iguales o cercanos a cero, porque lo más probable es que estas personas sean no declarantes, o tengan ingresos informados muy inferiores a sus inversiones. Pero el problema en este caso es lo que uno hace al detectar estas inconsistencias. Claro, porque Impuestos Internos opera en el mundo de los contribuyentes, en donde estos declaran y concurren a las citaciones. En el mundo delictual eso no va a ocurrir, e Impuestos Internos no tiene una policía tributaria, como la que existe en algunos países.

En Italia, por ejemplo, existe una policía fiscal que se dedica a esas labores. En Chile obviamente no existe eso y por lo tanto, en situaciones donde hay una persona que no es declarante, que nunca he tenido contacto con la administración tributaria, es muy poco lo que Impuestos Internos puede hacer incluso detectando un potencial incumplimiento. De ahí la importancia que haya una acción conjunta con los organismos policiales (Lámina B9).

3. Uso de la información: el caso del SII

¿Se puede usar para detectar delincuencia?

- Sí. Probablemente I>0 e Y=0 (no declarante)
- El problema es qué se hace después de detectar
- · Importancia de la acción conjunta con otros organismos

Lámina B9

Tomé unos ejemplos que encontré en la Secretaría de Modernización del Estado, de cosas que el Servicio está haciendo en relación a delitos específicos. El primero, tiene que ver con el robo de cobre. Me interesa este ejemplo porque tiene que ver justamente con ¿cómo se puede utilizar información de la factura electrónica? Lo que Impuestos Internos ha hecho, es analizar el texto de las facturas de compra. Ustedes saben que las facturas tienen una glosa que no está codificada y, por lo tanto, hay un desafío tecnológico allí, de cómo uno puede inteligentemente analizar

esa glosa. En el tema de robo de cobre, Impuestos Internos dice que ha analizado el texto contenido en la factura de compra electrónica, en un periodo de tiempo y detecta un volumen importante de operaciones de 170,000 millones. Luego detecta que el 80% de ese monto, corresponde a chatarra de cobre. Y concluye, que hay 15,600 contribuyentes que son recicladores o chatarreros de cobre, de los cuales hay 10,000 informales y determina un monto de la operación. Entonces lo que está detrás de esto, es que el robo de cobre no es efectuado por contribuyentes que den factura, pero sí muchas veces hay que pasar de alguna manera por la formalidad. En este caso, quién roba cobre debe venderlo a algún reciclador y ese reciclador sí va a tener que emitir una factura de compra y por esa vía es que Impuestos Internos se aproxima a identificar dónde podrían estar estas personas. Es bastante preliminar, pero llegó a detectar que hay 10,000 informales, igual está un poquito lejos de saber quién es quién, pero quiero mostrar aquí un posible camino, de cómo uno podría utilizar información disponible (Lámina B10).

Lo mismo en el robo a la madera, donde Impuestos Internos dice que ha desarrollado un diccionario, haciendo *text mining* para identificar palabras claves en las transacciones de venta y compra. Ha desarrollado una aplicación, que permite validar en línea las guías de despacho electrónica, por las cuales se transporta la madera, o identificación de contribuyentes que recibieron documentos tributarios electrónicos con algún ítem asociado a la madera (Lámina B11).

Y se menciona también en este documento, un tercer caso, de robo de vehículos. Allí, primero se describe una manera de actuar que está vinculada a varios delitos, que tiene que ver con la posibilidad que existe de crear empresas en un día. Entonces, muchos de estos delincuentes crean empresas en un día, que la ponen como una fachada legal para hacer inicio de actividades y realizar ventas ficticias a través de la emisión de factura electrónica, que por supuesto después nunca declara. En este ámbito, el Servicio dice que construyó o está construyendo un diccionario nuevamente, para hacer análisis de los textos de los documentos tributarios electrónicos, que ha identificado información relevante asociada a las patentes vehiculares donde se puede individualizar la primera venta y las transferencias de estos vehículos y que con eso ha logrado poner marcas negativas en el historial de los contribuyentes, en situaciones como cuando hay contribuyentes que solo registran ventas y no compras, o cuando los contribuyentes realizaron ventas de vehículos y no declararon el formulario de IVA, etcétera. Allí tenemos ejemplos de cómo podemos utilizar todo este gran volumen de información, pero hay un desafío importante, porque Impuestos Internos recibe millones de documentos tributarios electrónicos. Entonces, se requiere una gran capacidad para poder analizar todos esos documentos sobre todo cuando se trata de información no estructurada, como puede ser el texto de las glosas de la factura (Lámina B12).

Uso de la información: el caso del SII

Tres ejemplos, tomados de la presentación "Sistema Integrado para la fiscalización tributaria y crimen organizado", de la Secretaría de Modernización del Estado (abril, 2023).

1) Robo de cobre

- A través del análisis del texto contenido en las facturas de compra electrónica (glosas), emitidas entre enero de 2019 y diciembre de 2022, se pudo detectar operaciones por \$170 mil millones.
- El 80% del monto de esas operaciones corresponde a "chatarra de cobre"
- Se identificaron 15,6 mil contribuyentes recicladores/chatarreros de cobre. De estos, 10 mil son informales, y sus operaciones ascienden a \$18.500 millones.

Lámina B10

3. Uso de la información: el caso del SII

2) Robo de madera

- Diccionario de madera: desarrollo de text mining, para identificar palabras claves en información transaccional del vendedor y comprador.
- Aplicación que permite validar las guías de despacho electrónicas a distancia, disponibilizada en www.sii.cl.
- Identificación de contribuyentes que emitieron o recibieron DTEs con algún ítem asociable a madera. (Provincia de Arauco).

Lámina B11

3. Uso de la información: el caso del SII

3) Robo de vehículos

- Creación de empresas en un día que actúan con fachadas legales, realizan el inicio de actividad y venta fícticia a través de la emisión de una factura electrónica, para luego realizar la inscripción del automóvil en el Servicio de Registro Civil e Identificación (Certificado De inscripción R.V.M.) y posteriormente vender a personas inocentes.
- Se construye diccionario, para realizar análisis de textos en los Documentos Tributarios Electrónicos (vehículos livianos, pesados y maquinarias).
- Información relevante asociada a patentes vehiculares donde se puede individualizar la primera venta y las transferencias de estos.

Lámina B12

4. Compartir información

Y, por último, Compartir Información, pero aquí en realidad yo tengo una pregunta: ¿es posible avanzar hacia un sistema integrado de información para combatir el crimen organizado? De tal forma que todos quienes tienen información o pueden aportar en este tema pudieran compartir datos. La respuesta no es obvia porque cada entidad tiene sus restricciones legales. Cada uno debe tener, en el caso de Impuestos Internos lo tiene, el deber de reserva respecto de la información a la que accede legalmente. Pero vale la pena plantear eso y ver cuál sería la estrategia adecuada, tal vez una modificación legal que permitiera que esta información que muchos organismos tienen pudiese ser compartida o utilizada con el fin de lograr una mejor persecución del delito (Lámina B13).

Compartir información

- ¿Es posible avanzar hacia un Sistema Integrado de Información para combatir el crimen organizado?
- Restricciones legales: cada entidad tiene deber de reserva respecto de la información a la que accede legalmente

Lámina B13

Muchas gracias.

Sr. Richard Weber.

—También quiero dar las gracias al Instituto de Ingenieros de Chile y a los invitados a este seminario por su asistencia. Es muy importante mostrar el potencial de la ingeniería en seguridad y Daniel Johnson lo expresó muy bien en su presentación inicial, no lo voy a repetir ahora, voy a dedicar el tiempo que nos queda a focalizar en temas de inteligencia artificial y modelos analíticos. Aquí voy a mostrar qué se puede hacer desde la ingeniería, desde la matemática, desde la tecnología para mejorar la seguridad en el país. Lo voy a hacer desde la experiencia con el Ministerio Público. Aquí también agradezco a Claudio Ramírez Coordinador Nacional del SACFI que me acompaña y que al final de la presentación va a comentar un poco desde su experiencia en ese trabajo (Lámina C1).

Modelos analíticos e Inteligencia Artificial para detectar grupos y estructuras criminales

Richard Weber

Departamento de Ingeniería Industrial

FCFM, Universidad de Chile

@Richard_Weber X richard.weber@uchile.cl

Lámina C1

A nivel mundial la inteligencia artificial, los modelos cuantitativos son una realidad en el tema de seguridad, hace mucho tiempo. Aquí menciono solamente algunos temas como cámaras para captar información, grabar, reconocimiento facial, placa patente, modelos predictivos; Raúl Manásevich lo mencionó en su introducción. Desde la inteligencia artificial usamos modelos de lenguaje. Aquí hay una batería de herramientas que podríamos utilizar para mejorar la seguridad (Lámina C2).

Modelos analíticos e Inteligencia Artificial en seguridad

- Cámaras para captar e interpretar grabaciones
 - Reconocimiento facial, PPU, ...
- Modelos predictivos
- Large Language Models (LLM)
- ··· ··· ···



https://scitechdaily.com/ai-algorithm-predicts-future-crimes-one-week-in-advance-with-90-accuracy/

Lámina C2

¿Qué usamos en Chile? Hay varios modelos funcionando en Chile. Yo me voy a focalizar en una herramienta que desarrollamos para el Ministerio Público y que llamamos Fiscal Heredia, que tiene básicamente dos elementos: uno, en donde analizamos redes sociales para identificar grupos organizados; y un segundo ámbito donde usamos los *large language models*, modelos de lenguaje grandes para analizar textos (Lámina C3).

IA para la seguridad en Chile: Fiscal Heredia

- Redes sociales para identificar grupos organizados
- Large Language Models (LLM) para analizar textos

Lámina C3

Primero la pregunta: ¿por qué Heredia? Una expresión bien simpática, no voy a entrar ahora en detalle. El acrónimo significa Herramienta para el Estudio del Delito con Inteligencia Artificial y hace alusión a un personaje del novelista Ramón Díaz que en varias de sus novelas habla del detective Heredia. Y tomamos esa idea y la adaptamos al caso de un fiscal y lo llamamos Fiscal Heredia (Lámina C4).



Lámina C4

¿Qué se puede hacer con el análisis de redes sociales? Y lo quiero introducir usando esa frase "dime con quién andas y te diré quién eres". Me imagino que todos la hemos escuchado, si no es muy fácil y tan obvio lo que quiere expresar. Las conexiones que tenemos hablan de nuestro comportamiento, de nuestras preferencias y eso lo podemos ahora adaptar al tema del delito, para detectar mejor los delitos y aquí una referencia a la presentación de Daniel Johnson. Daniel dijo que la probabilidad de ser capturado en un delito es un 6%, aquí podemos mostrar cómo con esa red social podemos aumentar ese porcentaje. Modelamos un grafo, en matemática hablamos de la Teoría de Grafos. Donde un Nodo es un delincuente, un Vínculo entre dos delincuentes indica que los dos son compañeros de delito. Se ve así, es un pantallazo del sistema que desarrollamos. Cada punto celeste acá representa una persona que cometió un delito en el pasado. Y, por lo tanto, es parte de la base de datos que tenemos en el Ministerio Público. Entre dos personas que cometieron un delito en el pasado, hay un vínculo si los dos cometieron por lo menos un delito juntos. De esa forma construimos esa red social que no hay que confundir con las redes sociales que conocemos de los jóvenes como son: Instagram, Tik Tok. Aquí hablamos de una red social base, de una relación entre personas. Y la relación, de nuevo indica que cometieron por lo menos un delito juntos. Hoy lo llamo de la siguiente forma: un vínculo indica que hay mucha confianza entre los dos, es un tema que voy a tomar más adelante (Lámina C5).



Lámina C5

Aquí hay varios ejemplos. Un primer ejemplo muestra la identificación de integrantes de una banda en el caso de un robo. Los nodos que vemos aquí son sospechosos porque cometieron un delito en el pasado. Y ahora con esa red social vamos a estudiar, investigar un delito particular, un robo donde participaron 12 personas. Las que vemos aquí con ese círculo rojo. Y lo que decía Daniel para detectar uno de los integrantes la probabilidad es del 6%. El modelo que desarrollamos acá aumenta esa probabilidad. Si tuviéramos por ejemplo dos personas, dos imputados conocidos, este de acá y ese de acá, podemos con el modelo de optimización formar un camino que une los dos imputados conocidos. En este ejemplo, vemos que en ese camino encontramos cuatro nodos con un círculo rojo, quiere decir que ese camino indica en total siete sospechosos, de los cuales cuatro de verdad son integrantes. Y de esa forma, pudimos aumentar la probabilidad de capturar delincuentes. Obviamente aquí hay tres, donde el modelo se equivoca para un lado y aquí hay algunos con el círculo donde el modelo se equivoca para el otro lado. Por supuesto la decisión siempre al final es del fiscal, de un fiscal humano (Lámina C6).

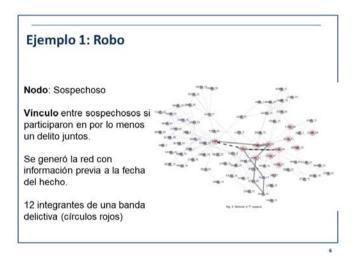


Lámina C6

¿Cómo opera el modelo detrás? Es un modelo de Optimización, donde buscamos una banda óptima partiendo con dos imputados conocidos, formulamos un modelo matemático donde maximizamos la utilidad que busca la banda. Detrás de eso hay un modelo que se remonta del año 1968 cuando Gary Becker dijo que ciertos delitos siguen el razonamiento de la persona, son algo racional,

donde uno quiere maximizar su utilidad. Eso lo bajamos a este tipo de robo que vimos acá y lo metimos a este modelo de optimización. Buscamos una banda que maximice la utilidad. Aquí por lo menos, tiene que haber un imputado. Si no hay ningún imputado conocido, el modelo no opera. Necesitamos por lo menos un imputado conocido, luego podemos especificar el número que buscamos. Podemos decirle al modelo, entrégame una sugerencia de una banda de 5, de 6 o de 7 personas. También podemos establecer el porcentaje de la ganancia que estamos dispuestos a repartir entre los integrantes. Y con esa información, el modelo busca la banda óptima (Lámina C7).

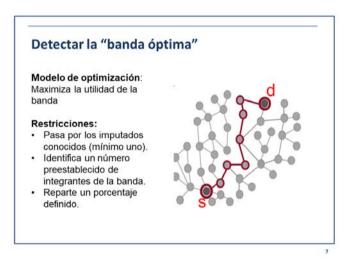


Lámina C7

Ese es un ejemplo. Honestamente, no tengo el tiempo para entrar a detalle. Es una evaluación, lo vamos a ver más adelante en otro contexto también (Lámina C8).

Un segundo ejemplo, un caso de homicidio. Algo que ocurrió en mayo del 2021. Hoy sabemos, que en su momento participaron ocho imputados. Pero al momento del delito hubo un imputado conocido (Lámina C9).

Aquí vemos los delitos que cometieron los ocho imputados en el caso, en un periodo de 9 años. En total son alrededor de 400 delitos, lo cual es una mala noticia para la sociedad. Aquí ha habido muchos delitos, pero es una buena noticia para nosotros que queremos modelar esa red social. Porque cada delito agrega valor a la red social, cada delito termina en un vínculo y eso se ve acá (Lámina C10).

Identificación de redes delictuales - Caso de robo Table 4 Example of associations and recall values. Recall of LIRAM and modified SPA Association Modified SPA LIRAM YRUR_58 p = 0.5 $\varphi = 0.4$ $\varphi = 0.3$ = 0.2 $\varphi = 0.1$ 6/10 6/10 3/10 2/10 FJPV_34 5/10 1/10 CASP 49 7/10 7/10 5/10 2/10 3/10 1/10 CAAR 9 6/10 6/10 6/10 3/10 2/10 1/10 BAQV_66 6/10 6/10 4/10 2/10 2/10 1/10 Average recall 62.5% 62.5% 50.0% 25.0% 22.5%



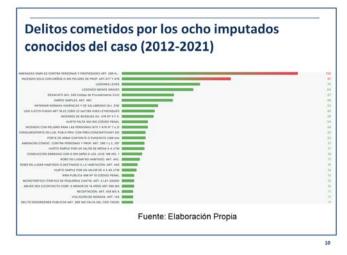


Lámina C10



Antecedentes de la causa:

- · Homicidio
- Mayo de 2021
- · Ocho imputados

Se generó la red con información previa a la fecha del hecho.

Se construyó la red partiendo con un individuo detenido el día del hecho. Se empleó un nivel 4 de relaciones con el sujeto inicial. La red resultante contiene 423 sujetos/nodos y 5126 relaciones/arcos.

Lámina C11

Lámina C9

Aquí vemos la red social del caso de homicidios. Donde se capturó el día del delito a un individuo, lo que llamamos el punto ancla y de ese punto ancla buscamos en su cercanía. La red que vemos acá es una red social nivel 4, quiere decir, que desde el punto ancla vamos a sus conexiones, a sus amigos de delito, luego a los compañeros de delito hasta llegar a nivel 4. Eso genera una red social de 423 nodos, de hecho, la que vemos acá, con un poco más de 5,000 vínculos (Lámina C11).

Y en esa red social buscamos ahora los que faltan. Hay dos modelos: uno parte con solamente un imputado, luego puede darse el caso de tener dos imputados, porque en la medida en que avance la investigación final, vamos a tener información adicional. Y aquí tenemos una evaluación, si buscamos entre tres imputados. Y lo que vemos acá ¿es cuántos de los que encontramos realmente son imputados? El modelo que parte con dos imputados en este caso particular, no se equivoca encuentra todos los imputados. Si buscamos hasta ocho, el modelo que tiene menos información, que parte solamente con un imputado al principio, también identifica bien a los integrantes de la banda. Aquí se equivocó un poco. Y nuevamente pongo énfasis en uno de los cinco momentos de la delincuencia, de la persecución final. Aquí podemos aumentar considerablemente la probabilidad de capturar a los delincuentes mucho más allá del 6% (Lámina C12).



Lámina C12

Lo que vimos hasta el momento, es parte de un sistema que llamamos el ecosistema Heredia que está instalado en el Ministerio Público y se usa todos los días. Algunos elementos que se ven acá, el usuario puede identificar el tamaño de la agrupación. Ese número 7, indica cuántos estamos buscando, cuántos integrantes de la banda estamos buscando. El nivel 4 como expliqué antes, dice, desde ese punto ancla, voy a una distancia de cuatro de sus compañeros de delito (Lámina C13).

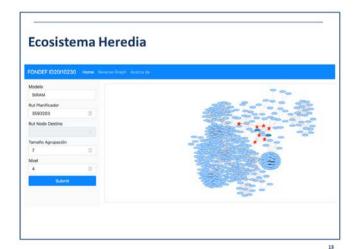


Lámina C13

Este sistema lo desarrollamos como parte de un proyecto FONDEF con tres universidades, la Fiscalía y la Empresa SOSAFE, no voy a hablar sobre este proyecto que terminó en marzo del 2023 (Lámina C14).



Lámina C14

Un tercer ejemplo, mismo modelo la Operación Influencer. Esa es una noticia de mayo de 2023, donde el fiscal nacional Ángel Valencia destacó ese sistema y dice: como la inteligencia artificial fue clave para la detención de la banda en la Operación Influencer. Nuevamente había pocos imputados conocidos. Partimos con dos, es un análisis que hizo gente de la fiscalía, allí no participamos. Partiendo con los dos, una red social identificó hasta 13 sospechosos. Esos 13 fueron analizados por parte de la PDI que fue a terreno, a las 13 casas. Y de los 13 sospechosos, 11 era integrantes de la banda, una tasa espectacular. Eso es uno de los ejemplos de la aplicación del sistema (Lámina C15).



Lámina C15



15

¿Cuál es el potencial? Determinar e identificar bandas criminales, de crimen organizado. La persona que opera sola, no la detectamos con ese modelo. Tampoco ciertos eventos de crimen, como violencia intrafamiliar, eso está fuera. Con este sistema nos concentramos en crimen organizado, delitos contra la propiedad, homicidios, lavado de activos, fraude fiscal. Michel Jorratt en su presentación habló del robo de autos, del robo de cobre.

A mí me queda bastante claro, que aquí hay potencial enorme. Lo que sí necesitamos siempre, por lo menos, es un imputado conocido para empezar (Lámina C16).

Potencial: identificar bandas (crimen organizado)

- Crimen contra la propiedad
- Homicidios
- Lavado de dinero
- Fraude fiscal
-

Siempre partiendo con por lo menos un imputado conocido.

Lámina C16

1. Large Language Models

Con eso, voy ahora al segundo sistema que desarrollamos dentro del ecosistema Heredia. Los *Large Language Models* que hace un par de años atrás se llamaban *Text Mining*. La tecnología ha avanzado muchísimo y todos aquí conocemos el CHAT GPT. La base del CHAT GPT son los llamados *Large Language Models* donde analizamos texto.

Aquí vemos un ejemplo, de un relato de una víctima. Lamentablemente no tengo tiempo para entrar en detalle. ¿Cómo lo lee un humano? Un humano se fija en ciertos elementos, en ciertas entidades, por ejemplo, la fecha, la hora, la cantidad de individuos que, en ese caso, entraron a una casa a robar. En color gris, la gestión de la violencia. Esas son algunas entidades que son importantes para un humano (Lámina C17).

CON FECHA DE 18 DE DICIEMBRE DEL 2018, A LAS *ZO HONAULA PROXIMADAMENTE, EN EL DOMICLIO DE ***EL NITERIOR PROCEDEN AMMATAR AL GRUPO FAMILIAR. COMPUESTO POR ***. "SI CONVIGICE **Y SISS 2 HUNS MENORES DE EDAD, DE JINDALES CLA Y M. 1.A. JUNTO A OTRA MENOR DE EDAD DE INCALES C PA Y POR EL PADRE DE ***. "UNA VEZ HECKRADOS Y AMBARADOS DE HE DORRITORIO PROMIPICAL GODEVENTO AL HE LE ROSTRO AL VICTIMA*** PAPA REDUCIRLO, PROVOCANDOLE LESIONES DE CARACTER LEVE FINALMENTE LOS DELINCUENTES. DOS DE LLUS CON ABMAS DE IL PEGGOTY LOS DEMANS CON ABMAS DE LA PEGGOTY LOS DELINCUENTES. CONTUNDENTES. SUSTRAEN DIFERENTES ESPECIES COMO LOS LE VICTIMA DE LA PUGA**

EN EL CUAL, SE

DANI A LA FUGA.**

DANI A LA FUGA.**

DANI A LA FUGA.**

DANI A LA FUGA.**

Lámina C17

Y esa idea la desarrollamos en un proyecto particular, donde detectamos estafas. Una estafa, donde una banda ofrece créditos a través de una página web. Una persona engancha, pide información, interactúa con la página web. Paga el gasto de operación y después no hay más comunicación. Ese es el fenómeno de la estafa.

En ese contexto, aplicamos la metodología que vemos acá, que usa varios elementos. Primero clasificamos los documentos. Hay 22 tipos de documentos distintos que clasificamos con una red neuronal, que es una herramienta de la inteligencia artificial. Luego aplicamos un filtro, porque no todos los documentos son de igual importancia. El siguiente paso, es reconocimiento de texto. Aquí aplicamos herramientas OCR (Optical Character Recognition) para sacar el texto del documento. Luego con una herramienta tipo GPT, extraemos las entidades, lo que mostré antes. Por ejemplo, la fecha, la cuenta corriente, el teléfono y finalmente visualizamos la relación entre víctimas y los estafadores en una red social. Aquí abajo vemos las herramientas que aplicamos. Aquí quisiera destacar en particular la herramienta Azure, es una herramienta en la nube que usa el Ministerio Público. Y hace una semana atrás logramos instalar el ecosistema Heredia en Azure, funciona ahora en la nube. Todos los fiscales de Chile tienen ahora acceso a las herramientas que desarrollamos (Lámina C18).

Aquí vemos, el impacto que eso puede producir en un ejercicio. Hicimos un análisis de los textos de 200 estafas. Lo hicimos en paralelo, con un equipo humano y el sistema Heredia. Lo que vemos acá, en esta columna, es el costo en

dólares americanos y el tiempo que requiere, 25 horas en total, un día. El equipo humano que tenía que analizar los mismos 200 casos de estafa, necesitaba un mes; la reducción es de 30 a un día. Una reducción de tiempo de 97%. Aquí hay por supuesto un costo, el crédito que hay que pagar por el uso de la nube, por el Open AI, eso es 65 dólares en total (Lámina C19).



Lámina C18

Herramienta	USD	Tiempo
Clasificador (Azure)	~30	~3h
OCR (Tesseract)	NA (Opensource)	~12h
gpt-4 (OpenAI)	~35	~10h
Total	~65	~25h
No incluyen el costo de ex	perimentos previos a la aplica	ción.

Lámina C19

Sobre el tema de costo, hay un artículo que salió justo la semana pasada, aquí vemos a Claudio Ramírez (Lámina C20).



Lámina C20

Solamente para terminar, ¿cuál es el potencial? Aquí con la herramienta que acabo de mostrar, podemos leer e interpretar textos. Lo que vimos son los textos de relatos de víctimas de estafas, pero también los textos que mencionó Michael Jorratt, la glosa de la compra y venta de cobre en Impuesto Internos. Actas de consejos municipales, informes del servicio médico legal, pensando en casos de homicidios, sentencias, administración de contratos, en general todo tipo de texto (Lámina C21).

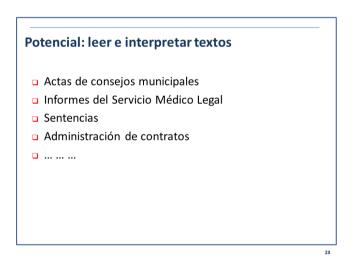


Lámina C21

2. Recomendaciones

Y con esto voy a terminar. Aquí hay algunas recomendaciones técnicas: unificar base de datos. El Ministerio Público tiene el BUD (Banco Unificado de Datos) donde están ahora, recién unificando algunos datos, pronto vamos a tener acceso a datos de Gendarmería, lo cual enriquece también la red social que mencioné. Obviamente, es necesario una capacitación. Ya empezamos a capacitar fiscales y analistas para que puedan usar en forma autónoma el Fiscal Heredia. Aquí uno puede pensar en agregar datos externos. La aplicación SOSAFE, empresas de telecomunicación. Ahora estamos trabajando con Entel, puede enriquecer la investigación y puede ver mucho más en contexto técnico. Pero también hay recomendaciones no técnicas, por ejemplo, la regulación. Hay una demanda por una mayor regulación. Estamos entrando a un terreno nuevo, donde falta todavía una cierta regulación. También hay que conservar aspectos éticos, en gestión de cambio en cada organización, sea el Ministerio Público, sea en Impuesto Internos. Esas herramientas estresan a la organización. Hay que gestionar el cambio, hay que instalar bien los sistemas que desarrollamos. Grandes desafíos, pero grandes oportunidades (Lámina C22).

Recomendaciones

- Unificar bases de datos
- Capacitación
- □ Datos externos (Sosafe, Telco, ...)
- ···
- Regulación
- Considerar aspectos éticos
- Gestión de cambio
- ··· ··· ···

Lámina C22

Muchas gracias.

Sr. Claudio Ramírez.

—Gracias. Como el profesor Weber no me dejó mucho que decir, solo quiero presentar tres ideas.

La primera, tiene que ver con la necesidad de incorporar todos los conocimientos no jurídicos al negocio de la investigación penal. Si ustedes recuerdan lo expuesto por el Director de la Fundación Paz Ciudadana al comienzo de esta jornada, en el sentido que la problemática iba desde la prevención temprana hasta la rehabilitación, ciertamente la mayor parte de esas competencias son "no-jurídicas". Lo mismo sucede en la persecución penal. Nosotros, en particular el área de análisis criminal del Ministerio Público, ha incorporado competencias no jurídicas en una institución que, tradicionalmente, estaba sujeta al conocimiento exclusivamente jurídico. Particularmente, hemos incorporado ingenieros de distinto tipo, de distintas especialidades de la ingeniería; así como profesionales de las ciencias sociales, como sociología o geografía, de manera que la mirada no exclusivamente jurídica del problema sea un aporte a la solución de estos problemas. Hay que recordar que estos problemas solo son crecientes: en la medida que aumentan las carreteras, aumentan los vehículos, aumentan las transacciones a través de los sitios web, aumenta el ingreso de personas del extranjero hacia el país, aumentan las medidas de seguridad y, con ello, la creatividad de los sujetos para vulnerarlas, todo se incrementa y es una oferta —entre comillas— al mercado criminal. Por lo tanto, en la medida en que todos estos trabajos sean permanentes y extendidos hay un llamado a las personas como ustedes, que tienen las competencias no jurídicas, a incorporarse a este trabajo.

Lo segundo, más allá del punto de vista técnico, es que hay dos aspectos que nos aportan fuertemente a estas soluciones. Una, es el imputado desconocido. Casi el 60% de los delitos que ingresan al Ministerio Público en un año, son denuncias con imputados desconocidos. Esto dependiendo del tipo de delito, pero existen ámbitos, como el de los delitos contra la propiedad, en donde cerca del 90% de los ingresos está constituido por imputados desconocidos. Por lo tanto, el trabajo para, primero, identificar personas y, segundo, poder condenarlas, es intenso y más aún si lo queremos vincular a grupos delictivos, que es un esfuerzo con una complejidad adicional. Y si, además de identificar un sujeto inicialmente desconocido y asociarlo a una

banda, queremos descubrir cuál es su posición dentro de un mercado criminal, identificando sus bienes, su forma de adquisición y la forma en la que blanquea su dinero ilícito, el desafío es mucho mayor. Por lo tanto, todo este proceso de lectura rápida, masiva e inteligente permite aportar en hacer este proceso más rápido. El profesor Weber decía: "tenemos un imputado conocido, pero de ese imputado conocido, nosotros podemos llegar a conocer cinco a seis más, que son desconocidos". De un conocido, podemos llegar a varios desconocidos. Si ese proceso lo realiza un profesional individualmente, es decir, una persona que lee relatos de hechos delictuales contenidos en partes policiales, este puede demorar un tiempo considerable. Esto lo observamos en un ejercicio que hacíamos con equipos policiales y el equipo de la Universidad de Chile. El de la Universidad de Chile demoraba mediodía y los otros demoraban dos semanas, en llegar a la misma conclusión. Entonces, allí uno dice "ok, el aporte es poder identificar rápidamente personas que forman parte de un gripo delictivo", y para eso están los algoritmos que explicaba el profesor Weber, teniendo la posibilidad de elegir entre el "LiRAM" (que parte con dos imputados conocidos, donde el nodo es el imputado y el vínculo se da cuando dos imputados pertenecen a una misma causa), el "StRAM" (que parte con un imputado conocido, donde el nodo es el imputado y el vínculo se da cuando dos imputados pertenecen a una misma causa).

Entonces, vamos a poder, por un lado, identificar al imputado desconocido y, por otro lado, permitir a las personas dedicar más tiempo al análisis, al efectuar una lectura masiva en poco tiempo. Es decir, para simplificar la explicación, lo mismo que harían 20 personas en dos meses, el software lo puede hacer en 20 minutos. Y puede plantear más soluciones. Entonces, es muy potente.

La tercera idea, que es importante declarar, es que hemos hecho un gran trabajo para evitar que esta solución tenga sesgos. No busca imputados, no busca personas determinadas, no anda buscando a un tipo de persona o un tipo de imputado, sino que más bien hace una propuesta de personas, que pueden tener vinculaciones delictivas a través de su historial en el sistema, que es masivo, que son más de 20 millones de datos, por lo tanto, no tiene sesgo. Y lo segundo que buscamos es que "la inteligencia sea poco creativa", es decir, si no sabe, no me dé respuesta. Esta es una prevención que hemos ido tomando, dado el negocio al que nos dedicamos. No podemos cometer errores, por lo

tanto, le pedimos a esta solución que no sea creativa, si no sabe lo que le pedimos, mejor que no nos dé respuesta, que no nos dé nombres, que no nos dé propuestas. Asimismo, siempre hay un ser humano, un fiscal en este caso, que toma una decisión, sobre la base de información que le aporta el sistema. Lo que hace el software es optimizar el tiempo que le hubiera tomado a ese fiscal haber tomado esa decisión. Y efectivamente, ha sido bastante utilizada. Tenemos 70 requerimientos en los últimos tres meses, requerimientos de información de más de 90 delitos, todos los delitos complejos y con muchos imputados.

Cierro con la propuesta. Hay al menos dos ámbitos en los cuales trabajar la inteligencia, y se vieron muy claras en estas exposiciones: la gestión de la violencia, la gestión de los de los grupos delictivos y la gestión financiera o patrimonial de las bandas. Así como se levanta una red social, debería alimentarse una red patrimonial, porque, por ejemplo, los primos son los que compran para el líder de una banda, nunca van a estar las cosas a nombre del líder de la banda. Entonces, la red tiene que ser lo más amplia posible, y ser capaz de detectar a estos otros sujetos que forman parte de la red, pero que son más difíciles de detectar; y lo segundo, es ampliar a la mayor cantidad de delitos. Hoy día tenemos una serie de delitos sobre los que se han construido los modelos matemáticos, pero no todos los delitos aparecen al lector de la misma manera. Es distinto, por ejemplo, leer una denuncia por robo con imputado desconocido, que leer una denuncia con un detenido en flagrancia por porte de armas y drogas, son mecánicas distintas tanto en la estructura del relato, los hechos que contienen y, sobre todo, la manera en la que se puede acceder a una hipótesis investigativa sobre la agrupación delictual que está detrás del hecho.

Entonces, nuestra idea es ampliar este tipo de soluciones a otros fenómenos delictuales, como el homicidio, incendios, secuestros, extorsiones, armas y drogas. Ya hemos utilizado esta solución en algunos delitos de pornografía, y nos ha dado bastantes resultados.

En definitiva, la incorporación de competencias extrajurídicas, como la ingeniería y las ciencias sociales, a la manera estrictamente jurídica de persecución penal, han generado un cambio profundo en la forma de desarrollar las investigaciones, haciéndolas más profundas, exhaustivas y abarcando las distintas aristas del fenómeno criminal, desechando la lógica del "caso a caso", mediante la investigación de estructuras de criminalidad. En ese camino estamos, y esperamos seguir profundizando la integración de saberes diversos para el éxito de la persecución penal.

Muchas gracias.

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

Sr. Juan Carlos Barros.

—Tenemos algunos minutos para preguntas. Si alguien quiere hacerla. En todo caso yo me quedo satisfecho con las presentaciones que se hicieron, porque la verdad, permiten abrir nuevos ámbitos de acción y de alguna manera demostrar que la ciencia de datos, la ingeniería tiene mucho que aportar. Precisamente en este ámbito y dado que es un problema de todos, creo que todos debiéramos colaborar en esta línea.

Sra. Damaris Orphanópoulos.

—¿Estos métodos pueden dar abasto para la gran cantidad de criminales que han entrado a Chile?

Sr. Richard Weber.

—Interesante la pregunta y entiendo también la necesidad. La respuesta es fácil sí y no. Me explico, los métodos obviamente son genéricos, no son para un grupo de personas en particular. Podrían dar una respuesta, el problema con la gente que entra al país es que no tenemos su historial delictivo. La red social que construimos se enriquece con los delitos que la persona ha cometido en el pasado. Si alguien entra al país, no tenemos esa información y allí pienso que es importante una colaboración entre los países. Con Claudio Ramírez estamos hablando también con otras fiscalías, si es posible, Claudio tú puedes agregar donde creas importante, sobre la comunicación entre países, entre fiscalías de los distintos países. Ahí veo un potencial, solamente con la base de datos de un país, de Chile en este caso, lo veo más difícil, ¿qué opinas tú Claudio?

Sr. Claudio Ramírez.

—Como tú bien dices, es un problema complejo porque no tenemos todo el historial. Ahora para decir las cosas como son, lo que pasa es que el acceso a información internacional es lento y se aporta uno a uno. No en esta lógica de análisis masivo de información para lograr hacer una red. Así que es un camino a trabajar muy fuertemente. Nosotros creemos que una solución puede ser, toda esta colaboración judicial correspondiente al marco de investigaciones penales hoy tiene que ver con la investigación en el mundo web, es decir, ahí queda registro muchas veces de personas que en Chile no lo tienen, pero sí tienen registros en su vida web, de su vida digital. Y eso, en realidad, puede ser un ámbito en el cual los ingenieros nos pueden ayudar muchísimo, porque regularmente son soluciones internacionales, de entidades de análisis de información general, mundiales, pero requerimos que sea aplicada a nivel país, es un problema, pero hay que avanzar en esa línea.

Sra. Kena Lorenzini.

—¿Hay alguna otra entidad que estuviera utilizando inteligencia artificial, además del Ministerio Público para estos efectos?

Sr. Richard Weber.

—Estamos en conversaciones con la PDI que tiene un oficio similar. Que también investiga en el delito ya cometido a diferencia de carabineros. La PDI es un candidato natural, estamos en conversaciones con ellos.

Sr. Claudio Ramírez.

—Hay varios organismos públicos que utilizan inteligencia. Contraloría tiene un trabajo muy interesante, el mismo Servicio de Impuestos Internos también ha hecho un trabajo bien interesante. Pero en materia de persecución penal, lo más propio sería la Policía de Investigaciones y el Ministerio Público.

Sr. Alejandro Steiner.

—¿Cómo se explica la gráfica que muestra que, si bien el nivel de delitos es más o menos estable, la percepción pública muestra que somos los que tienen mayor miedo de los delincuentes?

Sr. Daniel Johnson.

—Es difícil de responder. De hecho, nosotros para este año, nos propusimos entender un poco más esta aparente inconsistencia. Para lograrlo estamos midiendo diferentes dimensiones del temor a través de preguntas que incorporaremos en el índice Paz Ciudadana 2024.

Sin embargo, es posible visualizar que el riesgo de ser víctima de un delito no es lo único que determina el temor.

Un aspecto adicional es la probabilidad de que el delito del cual temo ser víctima me genera un mayor daño. Es como el cálculo de un valor esperado, la probabilidad de ser víctima de delito se multiplica por el daño qué ese delito me puede causar.

Esta percepción evidentemente ha cambiado de manera muy importante, hoy percibimos qué podemos ser víctima de delitos más dañinos, homicidios, extorsiones, situaciones a las que antes no estábamos acostumbrados y eso, desconocido incluso, genera un nivel de temor muy grande.

Por otro lado, siempre ha estado la inquietud de que rol juegan en el temor los medios de comunicación y las redes sociales. Si bien no hay estudios que vinculen directamente las noticias con el temor, hace una década se pensaba que las personas más atemorizadas eran las que habían sido víctimas de un delito directamente; en segundo lugar, las que habían sido testigos de un delito; en tercer lugar, las que conocían directamente a alguien que había sido víctima de delito y después los expuestos a noticias en medios de comunicación.

Esta percepción podemos estimar que ha cambiado radicalmente producto de que hoy tenemos cámaras en todos los teléfonos celulares y en muchas calles, viviendas y comercio que graban permanentemente las situaciones que ocurren en las ciudades y son posibles de acceder por la prensa. Esto hace que cualquier delito del que se dé cuenta en la televisión, ya no es solo un relato que me cuenta que una persona fue víctima, ahora este va acompañado de videos desde diferentes ángulos que me muestran el momento mismo, y por lo tanto nos hacen testigos directos del hecho alcanzando un nivel de temor mucho más alto. Todos somos más testigos también producto de las redes sociales. Sin embargo, esto no explicaría por qué Chile, con estas condiciones que se debería dar en todos los países, tiene un nivel de temor tanto más alto que otros países incluso con niveles de inseguridad similares. Esto es algo que estamos estudiando y esperamos tener una respuesta al final de este año.

Fin de la Conferencia.

DESAFÍOS PARA LA AGRICULTURA FRENTE A UN CLIMA CAMBIANTE

Conferencia Sr. Pablo Mendoza y Sra. Susana Fischer.



Sr. Pablo Mendoza.



Sra. Susana Fischer.

El día jueves 27 de junio de 2024 —vía zoom—, ante una gran asistencia se realizó la conferencia "Desafíos para la Agricultura frente a un Clima Cambiante". En esta ocasión se contó con la participación del Sr. Pablo Mendoza, quien abordó el tema "Avances recientes en proyecciones hidroclimáticas para Chile continental" y de la Sra. Susana Fischer, quien expuso "Tecnologías y adaptaciones propuestas para el cambio climático en la agricultura".

Pablo Mendoza es Ingeniero Civil y Magíster en Ciencias de la Ingeniería mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico de la Universidad de Chile, 2010. Ph.D. de la Universidad de Colorado en Boulder. Actualmente es profesor asociado y trabaja como académico en el departamento de Ingeniería Civil y como investigador asociado en Advanced Mining Technology Center (AMTC) de la Universidad de Chile. Especialista en técnicas avanzadas de análisis de datos. Tiene más de 15 años de experiencia en modelación hidrológica, cambio climático, pronóstico de caudales hidroclimatología y criósfera.

Susana Fischer es Ingeniera Agrónomo de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, 1996. Magíster en Ciencias Mención Producción Vegetal, Universidad de Concepción 2005. Doctorada en Ciencias Mención Producción Vegetal, Universidad de Concepción 2013.

Actualmente es profesora asociada y trabaja como académica en el Departamento de producción vegetal de la Universidad de Concepción, es especialista en horticultura general y horticultura protegida. Ella nos va a presentar el tema tecnología y adaptaciones propuestas para el cambio climático en la agricultura.

A continuación, sus presentaciones.

Sr. Juan Carlos Barros, Presidente.

—Muy buenas tardes a todos y todas, como presidente del Instituto de Ingenieros de Chile, les quiero dar la más cordial bienvenida a esta Conferencia que hemos titulado: "Desafíos para la Agricultura frente a un Clima Cambiante".

El Instituto de Ingenieros de Chile es una corporación sin fines de lucro que desde hace 135 años se ocupa de hacer aportes a la excelencia de la ingeniería, a su enseñanza y al desarrollo del país.

Es en este contexto que periódicamente realizamos Foros, Seminarios o Charlas, sobre temas que, por su relevancia para el país, requieren ser expuestos ante la comunidad.

La agricultura enfrenta desafíos sin precedentes debido a los efectos del cambio climático, que impactan tanto la disponibilidad de recursos hídricos como las condiciones climáticas necesarias para la producción agrícola.

La ingeniería y los ingenieros desempeñarán un papel fundamental, desarrollando modelos hidroclimáticos más precisos e implementando tecnologías adaptativas para garantizar la resiliencia y sostenibilidad de la agricultura en Chile.

Esperamos en esta conferencia tener una discusión enriquecedora sobre la necesidad de realizar aportes desde la ingeniería a la Agricultura para hacer frente al cambio climático.

Agradecemos la participación de Pablo Mendoza y Susana Fischer, quienes serán presentados por nuestra Vicepresidenta Ximena Vargas Mesa, Ingeniera Civil, Consultora y Académica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, que además moderará las preguntas que realicen ustedes al término de las presentaciones a través de la sección de preguntas y respuestas de la plataforma.

Les solicitamos que al final de las presentaciones respondan una breve encuesta que realizamos para estos eventos, que nos permiten ir mejorando.

Finalmente, queremos expresar nuestro agradecimiento a REUNA que hace posible este Foro ya que sin su colaboración no podríamos disfrutar de esta conversación. Muchas gracias y bienvenidos.

Sr. Pablo Mendoza.

— Muchas gracias. Quiero comenzar agradeciendo al Instituto de Ingenieros de Chile por la consideración y por invitarme a compartir el trabajo que el grupo de hidrología en la Universidad de Chile ha estado haciendo por los últimos 7 años.

El título de la presentación es: "Avances recientes en proyecciones hidroclimáticas para Chile Continental" y quiero empezar por agradecer a todos los nombres que aparecen acá, que son colegas que han contribuido enormemente a los resultados que les voy a presentar a continuación (Lámina A1).



Lámina A1

La agenda de esta exposición (Lámina A2).

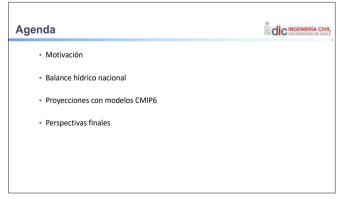


Lámina A2

Primero voy a dar una breve motivación del origen de este trabajo y después les voy a hablar de dos grandes temas.

En primer lugar, de la actualización del balance hídrico nacional, en particular del trabajo de homologación del cálculo del balance hídrico que la Universidad de Chile realizó durante el año 2022 y después les voy a hablar sobre resultados recientes que hemos obtenido a partir de modelos de la sexta fase del proyecto de comparación de modelos acoplados, más conocido como "CMIP6" y vamos a rematar con algunas perspectivas finales.

A modo de motivación tenemos el territorio de Chile continental, como ustedes pueden ver en esta imagen (Lámina A3).

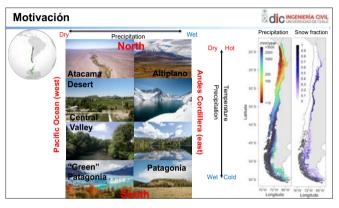


Lámina A3

Chile, en mi opinión, es un excelente laboratorio natural para estudiar hidrología, precisamente por la diversidad de paisajes tal como lo refleja esta fotografía. Tenemos Atacama, el altiplano, los valles de Chile Central, la cordillera de los Andes y los glaciares de la Patagonia. Entonces, hay una enorme diversidad en todo lo que tiene que ver con cobertura vegetal, tipos de suelo, topografía, unidades geológicas y también tenemos gradientes hidroclimáticos. Tenemos gradientes de precipitación, con aumentos hacia la cordillera de los Andes y también aumentos a medida que vamos avanzando hacia el sur de Chile y también tenemos gradientes de temperatura. Obviamente, hay condiciones más cálidas en el norte y temperaturas más frías a medida que avanzamos hacia el sur de Chile.

Acá en estos dos paneles de la derecha podemos ver cómo se reflejan esos gradientes en la precipitación anual promedio. Este es un mapa con valores promedios obtenidos con una resolución horizontal de 5 km. Yo creo que el mapa habla por sí solo e ilustra bastante bien que existe un gradiente desde la costa hacia la cordillera y también desde el norte

hacia el sur. Otro aspecto importante que revela este mapa, es que tenemos, además, la presencia de la cordillera de los Andes a lo largo de todo el territorio nacional, que propicia la caída de precipitación en forma de nieve. Entonces, a lo largo del territorio, la nieve también es una componente súper importante que, obviamente, va a modular la disponibilidad hídrica superficial.

Acá quería compartir con ustedes un mapa donde tenemos cuencas, que nosotros consideramos como cuencas con régimen hidrológico cercano al natural, en base a derechos de aprovechamiento de agua y también a la ausencia de grandes embalses (Lámina A4).

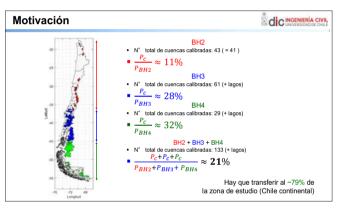


Lámina A4

Vemos cuencas en color rojo, que corresponden al trabajo que nosotros hicimos en la actualización del balance hídrico nacional para las macrozonas norte y centro, donde, si se fijan, tenemos el número total de cuencas que consideramos y también vemos la fracción del territorio, la macrozona norte y la macrozona centro. Este número refleja para qué fracción del territorio nacional nosotros conocemos la oferta hídrica natural, que es aproximadamente el 11%.

Las cuencas que vemos en color azul, nos entregan una fracción que es equivalente al 28% en la macrozona sur y también parte de la austral, que corresponde al BH3 de tercera etapa del balance hídrico nacional. Nosotros conocíamos las correntías que se generan naturalmente en un 28% de las cuencas y hacia la Patagonia este número aumenta a 32%. Si uno hace el cálculo final obtenemos que nosotros sabemos más o menos, la oferta natural de agua que generan nuestras cuencas en el 21% en territorio nacional. Entonces, el desafío es qué hacemos con el 79% restante.

De alguna forma, hay que extrapolar el conocimiento que nosotros hayamos sido capaces de generar desde estas cuencas con regímenes cercanos al natural, hasta el resto del territorio nacional. Es esa motivación la que dio origen a las distintas fases del proyecto de actualización del balance hídrico nacional, que comenzó en octubre de 2016 en su primera fase y que culminó con la homologación que se llevó a cabo en 2022, donde la gran pregunta que nosotros buscamos responder fue: ¿Cuánta agua tenemos?, ¿dónde están los principales almacenamientos y cómo es la oferta hídrica natural en Chile continental? ¿Cómo es esa oferta bajo condiciones históricamente observadas, pero también como va a cambiar en las próximas décadas?, recurriendo a escenarios de cambio climático.

Les quiero dar una pincelada sobre la homologación del balance hídrico nacional (Lámina A5).

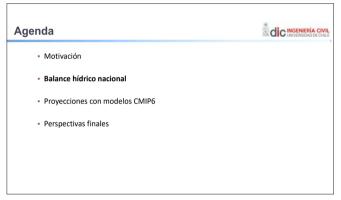


Lámina A5

Este fue un proyecto de aproximadamente 12 meses. Se ejecutó el año 2022 con profesionales de la Universidad de Chile, donde la primera parte consistió en generar un re-análisis para un periodo histórico de 30 años, desde abril de 1985 hasta marzo del 2015 (Lámina A6).

La primera fase fue escoger cuencas con régimen cercano al natural. Esto en base al análisis de derechos de aprovechamiento de agua consultivos permanentes y sujeto a la ausencia de envases grandes que pudieron afectar la hidrología que se genera en un régimen natural.

En segundo lugar, configuramos un modelo hidrológico, en este caso el modelo "*Variable Infiltration Capacity* o modelo VIC". Este es un modelo que simula procesos, el modelo

se configuró de manera espacialmente distribuida a una resolución horizontal de 0,05°. Las forzantes meteorológicas fueron obtenidas de una combinación de producto grillado CR2met y ERAS5 land. Una novedad respecto a las etapas anteriores es que en este proyecto nosotros incorporamos variabilidad sub pixel, producto de variaciones topográficas que existen dentro de cada unidad de modelamiento. En este caso, nosotros consideramos bandas de elevación delineadas cada 200 metros, en base a las recomendaciones de la tesis de magíster de Octavio Murillo. Otra novedad de esta etapa, fue que incorporamos rastreo de escorrentía, que es el proceso en el cual nosotros llevamos la escorrentía que se genera en cada pixel hasta una red hidrográfica para finalmente obtener caudal y la distribución de ese caudal dentro de una red hidrográfica digital. También consideramos la distribución espacial de algunos parámetros, en particular la conductividad hidráulica saturada y la profundidad de los suelos.



Lámina A6

Entonces, primera etapa, selección de cuencas de régimen natural, segunda etapa, configuración del modelo, la tercera etapa consistió en la calibración individual de cuencas para el cual utilizamos este algoritmo de optimización "DDS *Dynamically Dimensioned Search*", que no es un algoritmo que busque en particular una solución global, sino que intenta entregarnos una buena solución global.

La función objetivo que se planteó, fue esta que aparece acá. KGE es la eficiencia de Kling-Gupta. Vemos que esta función objetivo es buscar un compromiso entre reproducir caudales altos, pero también reproducir flujos bases. También se evaluaron los resultados de las simulaciones con productos MODIS, en particular con el "Fractional"

Snow Covered Área (FSCA)" y también con el producto de evapotranspiración SEEBop.

Luego de la calibración individual se recurrió a la estimación de la contribución glacial, esto en base a modelos simplificados. Acá, se utilizaron dos enfoques para las macrozonas norte y centro y otro enfoque, basado en grado día para las para todas las zonas de Chile ubicadas al sur de los 36 grados de latitud. Posteriormente, se realizó una regionalización de parámetros, utilizando principios de similitud y evaluando ese enfoque mediante validación cruzada y con esto, finalmente, obtuvimos simulaciones a nivel nacional para un periodo histórico.

Para responder a la pregunta ¿Qué es lo que va a pasar con nuestra hidrología las próximas décadas?, consideramos una ventana de 30 años en un futuro cercano entre el 2030 y 2060, donde se escogieron cuatro modelos climáticos globales, de la fase de CMIP5 y esos cuatro modelos fueron escogidos con dos criterios. El primero, que fuesen capaces de reproducir patrones climáticos a gran escala y particular el ENSO y el SAM y, en segundo lugar, que fuesen capaces estos cuatro modelos de entregar escenarios diferentes según proyecciones de cambio de precipitación y de temperatura. Finalmente, combinando el modelo configurado para todo el territorio nacional y los modelos climáticos escogidos se generaron proyecciones de cambio hidrológico.

Toda esta metodología nos permitió responder preguntas fundamentales como la que aparece acá: "¿Cómo es la partición de la precipitación anual entre lo que escurre y lo que se devuelve a la atmósfera como evapotranspiración en todas sus formas?" (Lámina A7).

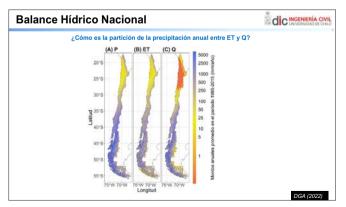


Lámina A7

Esto incluye desde transpiración de las plantas, operaciones de los suelos desnudos, nuevas operaciones de cuerpos de agua, sublimación, etcétera.

Estos tres mapas indican como es la distribución espacial de la precipitación anual, la evapotranspiración anual promedio y la escorrentía anual promedio. Estos son montos anuales promediados para el periodo climatológico base 1985 hasta el año 2015 y esto nos permite tener una estimación de primer orden de cuál es la oferta natural hídrica que tenemos a lo largo del territorio nacional.

También el desarrollo del balance nos permitió responder a preguntas relacionadas con ¿Qué deberíamos esperar para el futuro, ¿qué va a pasar con la precipitación? (Lámina A8).

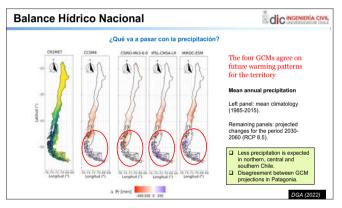


Lámina A8

En este mapa vemos la precipitación, la distribución espacial de la precipitación anual promedio en milímetros por año (mm/año) para el periodo 1985 al 2015 y en los cuatro mapas siguientes vemos cambios proyectados en la precipitación anual promedio por cuatro modelos climáticos diferentes para el período 2030 al 2060, bajo el escenario de emisión más desfavorable que entregó el CMIP5.

Entonces, en estos mapas se proyecta menos precipitación para las macrozonas norte, centro y sur de chile y se observa otro aspecto que, en realidad, no es tan sorpresivo, de que los modelos climáticos no necesariamente concuerdan respecto a qué pasará en el futuro en la Patagonia. En la literatura se ha reportado que la elección del modelo climático puede generar bastante incertidumbre, si es que no es la mayor fuente de incertidumbre que contribuye a dispersar los cambios proyectados.

Ya sabemos qué va a pasar con la precipitación. La siguiente pregunta es: "¿Qué va a pasar con la evapotranspiración y la escorrentía? (Lámina A9).

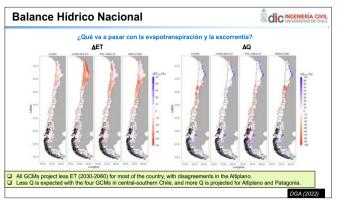


Lámina A9

Acá vemos mapas de cambios proyectados en la evapotranspiración anual promedio. Vemos un mapa por modelo climático. Esto corresponde a cambios porcentuales y a la derecha vemos mapas de cambios proyectados a la escorrentía anual promedio. Entonces, algunos aspectos que llaman la atención es que en general todos los modelos climáticos proyectan una menor evapotranspiración.

Se proyecta menos escorrentía con los cuatro modelos climáticos en el centro sur de Chile y mayor escorrentía para el altiplano y la Patagonia.

Ahora les quiero hablar un poco sobre el trabajo reciente que hemos realizado en el grupo de hidrología de la Universidad de Chile, con relación a modelos climáticos de la sexta fase del proyecto de comparación de modelos acoplados (Lámina A10).

Si bien, en la actualidad tenemos un montón de modelos climáticos, los resultados de estos modelos se comparten con una periodicidad que fluctúa entre los 6 y 7 años (Lámina A11).

Utilizar o querer utilizar todos estos modelos puede ser computacionalmente muy caro, entonces ahí entra la pregunta, qué modelos climáticos se deberían considerar o qué criterios deberíamos utilizar para evaluar esos modelos o también hacernos la pregunta que tan independientes son las proyecciones de estos distintos modelos, pensando que muchos modelos climáticos comparten porciones

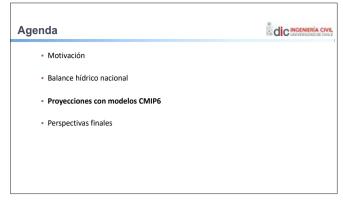


Lámina A10

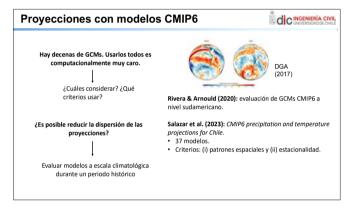


Lámina A11

importantes de código, incluso el origen institucional de varios modelos climáticos es el mismo; entonces, ahí uno puede correr el riesgo de considerar modelos climáticos que nos entreguen proyecciones que estén muy correlacionadas entre sí. La otra pregunta que uno se haría, dado que una de las mayores fuentes de incertidumbre es la elección de modelos climáticos. ¿Será posible reducir la dispersión de las proyecciones? Así, un paso clave es la evaluación de los modelos climáticos, poder entender cuáles son las limitaciones que tienen los modelos climáticos para aplicaciones específicas. Quería recordarles que, en la primera etapa del proyecto de actualización del balance hídrico nacional, nosotros escogimos modelos climáticos evaluando su capacidad de replicar El ENSO y el SAM. Acá hay dos estudios recientes. En primer lugar, el estudio Riveral & Arnould, donde se evaluaron modelos del CMIP6 a nivel sudamericano y más recientemente, en diciembre del año pasado, Salazar et al. publicaron una evaluación de modelos de CMIP6 de precipitación y temperatura para Chile, donde ellos utilizaron como criterio, la capacidad de los modelos

de replicar patrones espaciales y también la capacidad de replicar los ciclos anuales de precipitación y temperatura. Esto para 37 modelos.

Entonces ahora quería contarles un poquito de dos trabajos que se han realizado en el grupo de hidrología (Lámina A12).

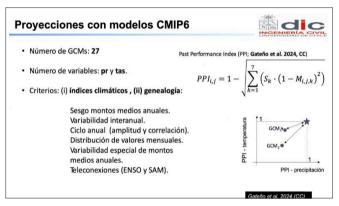


Lámina A12

El primero tiene que ver con la tesis de Felipe Gateño que ha sido publicada recientemente en la revista "Climatic Change", donde lo que Felipe hizo fue tomar 27 modelos del CMIP6, evaluar simulaciones de precipitación y temperatura por macrozona, para cada una de las cinco macrozonas de chile continental, utilizando como criterios de evaluación índices climáticos como los que vemos acá: sesgo montos medios anuales, la capacidad de modelos de replicar la variabilidad interanual, la capacidad de replicar ciclos anuales, distribuciones probabilísticas de valores mensuales, la variabilidad espacial de montos medios anuales y también teleconexión. Un aspecto novedoso del trabajo de Felipe, es que él también consideró la genealogía de los modelos climáticos. La genealogía tiene que ver con cuán dependientes son los modelos climáticos o cuánto código comparten. Entonces nosotros tenemos decenas de modelos que, en base a su genealogía, institución de origen o de dónde vienen los modelos desde el punto de vista de su concepción, esos modelos los podemos clasificar en familias. Lo que Felipe hizo fue, en primer lugar, evaluar los modelos climáticos en base a estos criterios para discriminar modelos malos y en un segundo paso lo que hicimos en este trabajo fue escoger el mejor modelo por familia y con esto nos evitamos el problema de tener proyecciones climáticas que estén correlacionadas entre sí. Entonces, para eso se propuso este índice que nosotros llamamos "PPI Past Performance Index", que es bastante similar a la eficiencia de Kling-Gupta para aquellos que estén familiarizados con esta eficiencia KGE. Si se fijan el PPI es una distancia euclidiana, donde en este caso nosotros teníamos siete métricas que están denotadas con la letra "M" y, además, nosotros esas métricas podemos darles distinto peso y el peso viene dado por S_k. Así, la idea de este esquema de evaluación de modelos climáticos es que, por una parte, yo tengo un índice de rendimiento para la precipitación y, por otra parte, tenemos un índice de rendimiento para la temperatura, donde la estrella nos indica el valor óptimo que es "1". Cuando esta distancia euclidiana es igual a "0", significa que no tenemos error en nuestras métricas de evaluación. Entonces el índice toma un valor igual a "1". Uno puede elaborar diagramas de este estilo donde tenemos el punto óptimo que es la estrella y tenemos tantos puntos como modelos climáticos y al final el mejor o los mejores modelos van a ser aquellos que más cerca estén de esta estrella.

Acá quería mostrarles un ejemplo de cómo luce esta evaluación, con un ejemplo centralista de las macrozonas centro de Chile (Lámina A13).

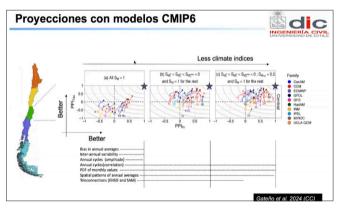


Lámina A13

Tenemos el PPI para la temperatura en el eje "Y" y el PPI para la precipitación en el eje "X", vemos la estrella que representa el óptimo y acá tenemos un diagrama con las métricas, dándole exactamente el mismo peso a todas las métricas en el cálculo del PPI.

Recordemos que esto es una distancia euclidiana, entonces en el primer diagrama consideramos sk=1 para todas las métricas. Todas las métricas pesan lo mismo.

Vemos que hay distintos colores que denotan la familia asociada a ese modelo y uno puede repetir esta evaluación cambiando los pesos. Así, dependiendo de a qué aspecto de los modelos climáticos yo le quiero dar más peso en la evaluación, puedo llevar algunos pesos de estos modelos a cero. Entonces, vemos el ejemplo en este panel del medio, donde le quitamos el peso a la evaluación de montos anuales promedio, a la evaluación de la variabilidad interanual promedio y a la desviación estándar interanual, que son tres aspectos que uno eventualmente puede corregir mediante métodos de escalamiento y corrección de sesgo. De esta forma, vemos que, si se cambian los pesos, obviamente cambian los valores de las métricas y podemos rescatar más modelos como posibles candidatos para utilizar. Acá vemos en este panel "c", una evaluación donde la única diferencia con el panel "b", es que le damos menos peso a las teleconexiones.

Entonces, ¿cómo afectan los distintos cambios a las proyecciones? (Lámina A14).

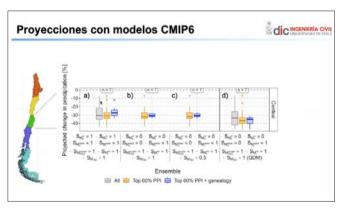


Lámina A14

Acá vemos cambios proyectados en la precipitación anual promedio, utilizando todos los modelos, los 27 modelos climáticos, que es lo que denota este gráfico de caja gris. Así, utilizando el mejor 60% de los modelos en base al PPI y finalmente en azul los cambios proyectados, combinando el rendimiento en el periodo histórico y además la genealogía. Esto quiere decir que de los modelos que encontramos en esta fase, en la cajita color naranja, vamos a tomar solamente un modelo por familia y eso es lo que se grafica acá en azul. Y vemos que el resultado de este proceso son siete modelos climáticos y en este caso particular se logra reducir la dispersión de los cambios proyectados en la precipitación

anual promedio y uno ve cuánto puede variar este resultado dependiendo de cómo cambiamos los pesos a las distintas métricas de evaluación, hasta finalmente en el panel "d", vemos cómo lucen las proyecciones al aplicar corrección de "c".

Quizás dos lecciones importantes de este estudio es que es muy difícil entrar un modelo que sea el mejor para todo. Es bastante común cuando uno trabaja en general en modelos de cualquier tipo que haya *trade off*. Dependiendo de lo que nosotros queramos replicar, va a haber un conjunto de modelos mejores que otros. Otra lección importante de este estudio es lo difícil que es disminuir la dispersión en las proyecciones de cambio climático. En este caso se observa que disminuye esa dispersión, pero no siempre se dio ese resultado en las otras macrozonas.

Finalmente quería hablarles un poco sobre la pregunta referida al grado de desacuerdo que puede llegar a existir entre modelos climáticos, con relación a lo que va a llegar a suceder en el futuro (Lámina A15).

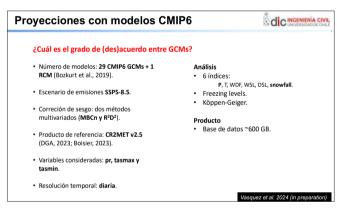


Lámina A15

Este es un trabajo que está culminando, forma parte de la tesis Doctoral de Nicolás Vásquez, quien también trabajó en las distintas etapas del proyecto del Balance Hídrico Nacional. Para responder a la pregunta, ¿cuál es el grado de acuerdo o desacuerdo entre modelos climáticos CMIP6? Lo que Nicolás hizo fue tomar 29 modelos climáticos del CMIP6, más un modelo climático regional. Utilizar el escenario de emisiones más desfavorable para el caso de CMIP6 y el RSP8.5, para el único modelo climático regional. Nicolás aplicó dos métodos de corrección de sesgo. Los dos métodos son multivariados y utilizó como producto de referencia CR2MET versión 2.5 y realizó su

análisis en torno a las variables precipitación, temperaturas máximas y temperaturas mínimas, para una resolución temporal diaria. Nicolás analizó índices de precipitación, temperatura, niveles de congelamiento y posibles cambios en la distribución de climas.

La pregunta que se intentó abordar ¿Cuál es el grado de acuerdo o desacuerdo entre modelos climáticos con relación a las zonas climáticas? ¿Cómo van a cambiar las zonas climáticas de Chile? (Lámina A16).

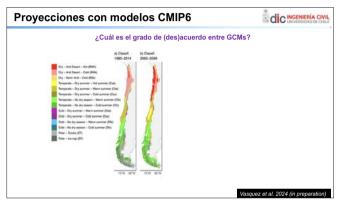


Lámina A16

Lo que vemos en el panel "a" es un mapa con la distribución histórica de climas a lo largo de Chile continental. Esta es una clasificación en base a un producto observacional del período 1980 al 2014 y fíjense qué es lo que nos dicen los modelos climáticos respecto al futuro. Esta es la distribución espacial de clases climáticas para el periodo del 2065 al 2099 y acá lo que se reporta es la mediana de todos los modelos. Y la pregunta es, de dónde viene la mediana reportada ¿es un acuerdo? y la respuesta es sí. Hay una señal bastante robusta en lo que es el acuerdo. Acá vemos la fracción de acuerdo de los 30 modelos que utilizó Nicolás, respecto de lo que va a pasar en el futuro, a cuál va a ser el tipo de clima en el periodo del 2065 al 2099. Si se fijan este mapa está en color morado en su totalidad, entonces en la mayoría de las zonas del país hay una señal robusta de qué es lo que va a pasar con los tipos de clima en el futuro. Acá en "d", finalmente vemos en qué zonas del país vamos a tener una transición importante en el tipo de clima. Vemos que en varias va a haber transición de climas polares a áridos. En la macrozona centro vamos a pasar de climas templados a áridos y vamos a tener transición de climas fríos a templados y de clima polar a templado.

También se realizaron análisis a la escala de cuenca. Lo que acá vemos es una serie de cuencas que tienen salida hacia el océano a lo largo de Chile continental (Lámina A17).

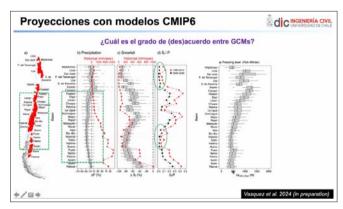


Lámina A17

Vemos cambios proyectados en precipitación a la escala de cuenca, lo que está reflejado por las cajitas. La dispersión en cada caja viene de los 30 modelos, 29 GSM más un modelo climático regional y vemos que el monto histórico está en color rojo. Lo primero que uno puede observar es que existe un alto nivel de acuerdo entre los modelos climáticos de CMIP6, con respecto a la disminución importante que va a existir en la precipitación anual promedio en todas estas cuencas ubicadas en el centro sur de Chile. También se aprecia que va a existir una importante caída en la fracción de precipitación que cae en forma de nieve, como lo muestran estas cajitas en este gráfico. La fracción de precipitación el color rojo muestra el monto histórico y el color negro muestra el snowfall fraction en el futuro. Entonces, inmediatamente llama la atención que la precipitación sólida va a disminuir prácticamente a cero en varias cuencas del territorio nacional.

Finalmente, nos hicimos la pregunta qué va a pasar con la isoterma cero o *freezing level*, cuánto va a subir la isoterma cero en el futuro. Entonces vemos que va a existir aumentos importantes, con medianas en casi todos los casos mayores a 500 metros y acá vemos como ese aumento de la isoterma cero va a afectar finalmente al área pluvial aportante de nuestras cuencas. Marqué un par de ejemplos para la cuenca fluvial del río Aconcagua y para la cuenca del río Maipo, vemos que el área fluvial aportante va a aumentar aproximadamente 1000 km., lo que puede tener consecuencias en la respuesta de nuestras cuencas ante eventos de crecida.

Algunas perspectivas finales de este trabajo (Lámina A18).

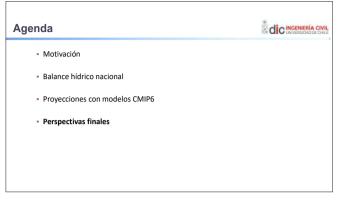


Lámina A18

Hemos documentado la enorme variabilidad espacial que existe en Chile continental, tanto en características fisiográficas, variables climáticas y almacenamientos y flujos de agua (Lámina A19).



Lámina A19

El gran desafío que hemos tenido en todos estos proyectos es caracterizar la disponibilidad hídrica ante la escasez de datos y escenarios de cambio global.

Un resultado importante del trabajo reciente que hemos hecho en la Universidad de Chile, tiene que ver con que los modelos de CMIP6 entregan una señal robusta en cuanto al cambio de las zonas climáticas de Chile continental y una señal robusta en cuanto al protagonismo que va a perder la nieve.

Agradecer al NLHPC por entregar infraestructura de cómputo para este trabajo (Lámina A20).



Lámina A20

Si quieren saber más sobre el trabajo de investigación que se ha hecho en el grupo de hidrología en la Universidad de Chile pueden acceder a alguna de estas publicaciones.

Finalmente, quiero mencionar que la base de datos con todas las series de tiempo escaladas de modelos climáticos de CMIP6, para el escenario más desfavorable y para todo Chile continental, están disponibles, son públicas ustedes pueden descargarlo, ahí está el código QR y bueno con esto me despido y les agradezco mucho por su atención.

Muchas gracias.

Sra. Susana Fischer.

—Muchas gracias, quiero agradecer al Instituto de Ingenieros de Chile que me pidió esta presentación y confía en que podamos aprender o saber un poco más al respecto, desde el punto de vista de lo que estamos en terreno con todos estos gráficos que nos ha mostrado Pablo Mendoza, pero que los tenemos que vivir ahí in situ y con una población que demanda el alimento fuertemente.

Le agradezco a Pablo Mendoza que habló sobre la importancia de la agricultura, la economía y la seguridad alimentaria, desde la perspectiva mundial y de Chile. Quise contextualizar esta presentación desde nuestro país, pero

entendiendo que lo que afecta a Chile afecta a todos. Este es un círculo desde donde todos tenemos que aportar desde nuestra posición. Después veremos los impactos brevemente y les voy a mostrar cosas puntuales, las estrategias y algunas innovaciones (Lámina B1).



Lámina B1

Respecto a la importancia de la agricultura (Lámina B2).

Indicador	Mirada Mundial	Mirada Nacional	
Contribución al PIB	En muchos países contribuye fuertemente, sobre todo en vía de desarrollo. 30% en algunos países africanos	4%	
Exportaciones agrícolas (frutas, vinos)	Fuente crucial de ingresos de divisas: Café, té, cacao, algodón	25% son de productos agrícolas y agroindustriales	
Empleo (fuerza laboral empleada en la agricultura)	27% (FAO)	9% (INE)	
Inversión y desarrollo rural	Infraestructura y los servicios básicos, lo cual contribuye al desarrollo económico y social.		
Producción de alimento	Proporcionando los productos básicos necesarios para la nutrición humana. Se debe aumentar en un 70% prod.	Fundamental para el consumo interno como para la exportació	
Diversidad Alimentaria	Vital para una dieta equilibrada y saludable	Producción de una amplia variedad de cultivos/autoabastecimiento	

Lámina B2

Si la medimos en indicadores, como por ejemplo la contribución al PIB, podemos decir que desde la mirada mundial hay países que en general son los que menos desarrollo tienen, en que la agricultura contribuye fuertemente al PIB, como es el caso de países africanos que bordean el 30% o más. En el caso de Chile, las últimas estadísticas nos indican que hay una contribución del 4% desde la perspectiva del PIB.

Como exportadores, principalmente de frutas y vinos, para Chile, estos productos alcanzan aproximadamente el 25%, ya sea como materia prima o procesados industriales, como es el caso del vino, un muy buen ejemplo de material procesado.

Sin lugar a duda a nivel mundial, los que más contribuyen al desarrollo económico a nivel mundial son el café, té, cacao y el algodón. En lo que es la fuerza laboral definitivamente es importante para nosotros. Si bien es un 9%, nosotros nos damos cuenta inmediatamente que hay un efecto en la agricultura, ya que baja o sube esta fuerza laboral. A nivel mundial, FAO indica que es un 27%. Para lo que es inversión y Desarrollo Rural, es la agricultura la que contribuye a este desarrollo, desde la infraestructura, los servicios básicos y el desarrollo social.

La seguridad alimentaria es importante para nosotros como país. Como dijo Pablo, somos un país diverso y esta misma diversidad de clima y de suelo, nos permite que como país y para muchos alimentos, podríamos ser autosustentables. Nosotros exportamos bastante y eso nos obliga a importar los mismos productos que producimos, pero quizás de menor calidad. A nivel mundial somos capaces de producir los alimentos que necesitamos, pero se debe aumentar de aquí al 2050 en un 70% la producción.

La diversidad alimentaria es importante para lo que es el equilibrio de nuestras dietas a nivel mundial y nacional, así que sin lugar a duda la agricultura es importante para la economía y la seguridad global.

Actualmente hay importantes desafíos que se debe enfrentar (Lámina B3).

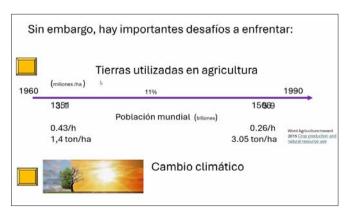


Lámina B3

En términos generales, si vemos la cantidad de tierra utilizada para la agricultura en 1960, eran 1.350 millones de hectáreas y en 1990 eran 1.500 millones de hectáreas. Eso significa que tenemos solamente un aumento de un 11% en la superficie de uso de esta tierra para la agricultura. En 1960 nosotros contábamos con 0,43 hectáreas por persona y hoy en día solamente tenemos un 0,26, porque evidentemente hemos aumentado la población. Hemos aumentado la población cuatro veces con respecto a 1960 y se espera que aumente aún más.

Si ha ocurrido eso y se ha podido alimentar el mundo, es porque ha aumentado en general los rendimientos de los cultivos desde, por ejemplo 1,4 toneladas en el caso puntual del trigo a 3,5 toneladas, es decir, se ha aumentado al doble y eso ha permitido que no tuviéramos crisis alimentaria a nivel mundial. Sin embargo, eso ha sido posible a través de mejoramiento genético, pero ya les voy a contar cuál es el cuello de botella hoy en día.

Respecto al cambio climático, que es el motivo de esta presentación, ya Pablo Mendoza lo detalló muy bien, yo solo quiero mostrar el aumento del sol y la reducción de la lluvia, en épocas en que no lo esperábamos (Lámina B4).

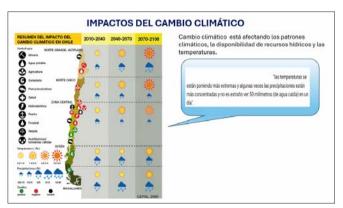


Lámina B4

Respecto a las lluvias, son complicadas en la agricultura (Lámina B5).

Por ejemplo, lluvias en primavera concentradas, por la evidente cantidad de floración de nuestro cultivo que tenemos en esa época y que afecta a todo el territorio. Así que estamos frente a esta perspectiva de aumento de temperatura y de lluvias; no voy a dar las cifras porque Pablo lo hizo súper

bien en ese sentido, pero para nosotros van a haber otoños más secos e inviernos más secos y primaveras que podrían ser secas, pero veranos lluviosos. Este verano, un ejemplo particular que nos afecta, es el caso la cereza que exporta a China como producto gourmet en año nuevo chino y es ahí donde necesitamos que no llueva para tener una cereza perfecta y justo llueve en esa época, lo cual hace que se pierda mucho de ese fruto. Ese es un ejemplo del cambio climático.

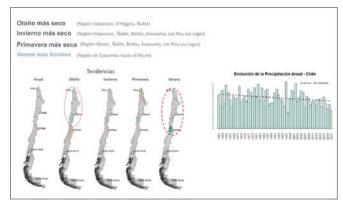


Lámina B5

Desde la perspectiva agronómica ¿Qué significa que existan fluctuaciones de temperatura? ¿Qué pasa si aumenta la temperatura? (Lámina B6).



Lámina B6

El árbol en realidad está feliz acumulando horas frío. Le perturba cuando no alcanza a acumular las horas frío, necesarias para florecer. Entonces, tenemos disminución en lo que son los rendimientos, son casos puntuales en el aumento en la radiación UV. ¿Qué significa por ejemplo para las manzanas, tomate o pimentón un golpe de sol?

En la imagen se aprecia una quemadura de la cutícula de la piel de la manzana y esto significa que no se puede exportar. Se puede comer el fruto perfectamente, pero gente invita a los consumidores a rechazarlo. Incluso puede significar el 50 o 55% de pérdida de la cosecha.

La escasez de agua genera detrimento del rendimiento. Este cambio de régimen de las precipitaciones nos cambia un poco el comportamiento y la respuesta de la planta.

Existen diversos tipos de estrés (Lámina B7).

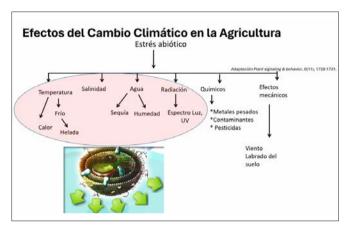


Lámina B7

El aumento de la concentración de CO₂ atmosférico, también es algo que nos está perturbando. Ahora, si lo ponemos en un esquema, todo aquel estrés abiótico, aumento de temperatura, el agua, puede haber sequía, humedad, radiación, aumento de radiación UV que afecta a la planta. Pero nosotros seguimos viendo que la planta sigue creciendo y produciendo. Quizás en menor cantidad, porque el estrés gatilla que la planta empiece a mover su maquinaria secundaria que es el metabolito secundario, donde activa una serie de moléculas que le llamamos "Bioactivos", elementos funcionales que protegen a la planta, por ejemplo, del UV, para que no muera por el UV o frente a la sequía.

Afortunadamente para nosotros, esto solamente como dato anecdótico o para que lo tengamos consideración. Muchos de estos bioactivos para que se proteja la planta, nosotros los seres humanos lo podemos usar para proteger nuestra salud. Un ejemplo de ello son los glicosinolatos de las brassicas. Es justamente en aquello en lo que trabaja nuestra unidad de gestión hortícola, trabaja con la sequía y viendo cómo

podemos manipular, mejorar sacarles el mayor beneficio a estos tipos de estrés, para no solamente producir alimentos y nutrir, sino que darle una mayor cantidad de elementos funcionales.

La respuesta al estrés depende de varios factores (Lámina B8).

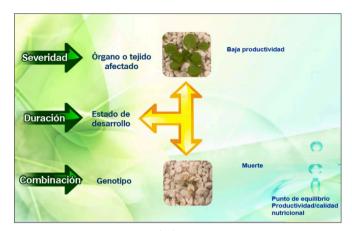


Lámina B8

Lo que les quiero mostrar hoy es la perspectiva, no desde nuestro trabajo, sino que la perspectiva agronómica.

El estrés afecta a la planta y gatilla el metabolito secundario, pero va a depender de la severidad del estrés, de la duración del estrés y de qué tipo de genotipo tengo, cuál es la especie a la que está afectando y dependiendo de estos factores es que o baja la productividad, que es lo que nosotros estamos viendo mucho o lleva a la muerte y afortunadamente son menos los casos que llevan a la muerte.

Entonces, nosotros estamos con una baja productividad hoy en día y menos terreno para poder cultivar y por ello necesitamos adaptarnos y adoptar estrategias de adaptación (Lámina B9).

Esta adaptación, implica varios niveles para poder hacerlo, porque todos causan impactos negativos. Como esta situación llegó para quedarse, tenemos que entender cómo funciona la planta y por eso me demoro un poco en mostrarles qué es lo que le pasa a la planta y actuar a niveles de campo en su sistema global de manejo; en el manejo del cultivo, con sus distintas rotaciones y el cultivo. Pero tienen que ser estrategias integradas no es una sola estrategia y tiene que abarcar todos estos niveles y esto es

lo que vamos a ir revisando; a nivel de cultivo necesitamos ser más eficientes y necesitamos utilizar otras tecnologías o ir incorporándolas.



Lámina B9

Se dice que para que este sistema y los agricultores integren estas tecnologías de adaptación a nivel de campo en las localidades, se debería tener un incentivo económico que los impulse, porque si estamos con menos producción necesitamos un incentivo.

Organicé esto para mostrarles que, de estos sistemas de cultivo, se puede hacer mejoramiento genético (Lámina B10).

Sistema de cultivo/cultivos

Mejoramiento agronómicas agronómicas eficientes

Exploración de simbiosis funcional agronómicos

Incentivos económicos

Impronta Agricultor

-Tecnologías de riego eficiente: Uso de tecnologías como el riego por goteo y la gestión eficiente del agua.

Menor disponibilidad/ mayor evapotranspiración, pérdida mediano plazo rendimiento y calidad

Riego presurizado (aspersión y gotero) Suministro de agua/ nutriente (fertinego). Cuando y en la medida exacta del requerimiento Kg producidos/ m³ agua usada

Largo plazo

Largo plazo

Lámina B10

Esto es algo de largo plazo, demora. Puedo hacer uso de prácticas agronómicas eficientes, puedo explorar la simbiosis funcional que hoy en día se utiliza mucho y les voy a explicar. No voy a abordar los incentivos y la impronta para agricultores, ya que son de prácticas de mediano y largo plazo, me voy a concentrar en estos tres.

Si hablo de prácticas agronómicas eficientes, por ejemplo, las tecnologías de riego eficientes, como el riego por goteo, la gestión eficiente del agua, sin duda hoy es una herramienta muy importante y es algo que se puede hacer y habilitar a corto plazo y es así como los distintos Gobiernos han impulsado a adoptar estas tecnologías de eficiencia.

Lo que se busca saber es por qué nosotros tenemos una menor disponibilidad de agua. Tenemos menos agua, pero tenemos más calor, por lo tanto, hay una mayor evapotranspiración. Perdemos más agua y con ello perdemos rendimiento y calidad. Con estos riegos eficientes se entrega el agua solamente donde está la planta, donde la necesita y cuándo la necesita. Así que lo que la lleva es el riego por aspersión y por goteo. Si a esto se le suma agregarle esta agua, el fertilizante, estamos hablando de fertirriego que también va hacia lo que es la eficiencia del uso de agua y nutriente donde la planta está y se le da exactamente lo que se quiere utilizar. Entonces, hoy en día ya no se habla de rendimiento por hectárea se habla de kilos producidos por metro cúbico de agua utilizada. Eso es un nuevo concepto.

Se debe tener prácticas agronómicas, de manejo sostenible (Lámina B11).



Lámina B11

En ese sentido el suelo es lo más importante y es lo que más hemos degradado y por eso es que podemos decir que el suelo contribuye, por ejemplo, a un hábitat tanto externo

a él como interno. Con microorganismos se contribuye a la regulación de escorrentías y va a permitir el desarrollo humano y el desarrollo de animales. El suelo es hoy en día un pilar fundamental para enfrentar el cambio climático, se ha reconocido su importancia y en ese sentido se han hecho varias innovaciones de sistemas de labranza y manejo de residuos. Esto quiere decir no se deja el suelo desprotegido, se hace un cultivo, pero con un suelo protegido para que no haya tanta pérdida de agua y, por otro lado, se han hecho en sectores de secano de nuestro país este tipo de movimientos de tierra en que se hacen curvas de nivel y pretiles para evitar que escurra el suelo, acumular agua y favorecer el crecimiento de plantas. También, las cero labranzas, es decir no mover el suelo y solo con una especie de platillo ir sembrando, es algo que ha dado muy buenos resultados.

Por otro lado, tenemos la agregación de "biochar" (Lámina B12).

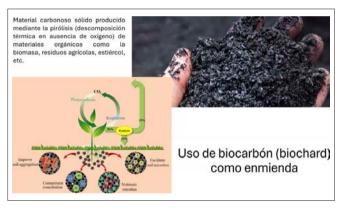


Lámina B12

Esto es material carbonoso, producido mediante pirólisis, mediante producción de calor muy fuerte y se utiliza como una enmienda. Es decir, todos los residuos se pueden llevar a carbón o biocarbón y este biocarbón se agrega al suelo y con ello podemos capturar metales pesados que nosotros sí tenemos nuestro país, hacia el norte fuertemente. Puede mejorar la agregación, mejorar la porosidad y además da nutrientes. Sumado a todos los microbios y hongos que tenemos, además de ayudar a la retención de nutrientes nitrógeno fósforo y potasio.

Esto es algo que está avanzando fuertemente a nivel mundial y en Chile tenemos la tecnología (Lámina B13).



Lámina B13

También es útil realizar manejos de residuos, pero también lo que es el uso de cobertura, ya que hoy hay más coberturas plásticas no biodegradables. Pero se está avanzando a nivel mundial y en nuestro país, para evitar la acumulación de microplásticos. No le damos espacio la maleza, protegemos el suelo, le damos mayor temperatura y gastamos menos agua. Si a esto se le agrega el uso de microtúnes, que son pequeños invernaderos para generar microambientes, entonces podemos tener cultivos en mejor estado. Se riegan por goteo, debajo va una cinta en que se pone el cultivo acostado. Esto es en lo que nosotros hemos estado avanzando mucho en terreno y ha permitido duplicar y un poquito más la producción de la agricultura familiar campesina y eso significa movilidad social entre muchas otras cosas.

También se usa geotextil que son unas mallas muy delgaditas en nuestros cultivos, para evitar heladas (Lámina B14).



Lámina B14

El uso de mallas antiheladas y además con colores diferentes, para evitar el golpe de sol, aquí nosotros tenemos una patente en nuestra facultad con respecto a esto y que hoy en día se está vendiendo en Estados Unidos, México, etcétera.

Los sistemas presurizados tienen impacto en nuestro país (Lámina B15).



Lámina B15

Se avanza de una eficiencia del 40%, como pueden ver que el agua se desborda en la imagen acá. Pero actualmente se ve lo que muestra la otra imagen, incluso en nuestro desierto, en la zona de Arica donde se está cubriendo principalmente con cultivos hortícolas como tomate, pepino, etc. Perú destaca en la habilitación de sus zonas áridas con riego presurizado.

Para los hortaliceros, también está el uso de estas mallas de sombra (Lámina B16).



Lámina B16

Las mallas de sombra tienen una tecnología diferente, justamente para evitar el rompimiento de cutículas, golpes de sol, etcétera.

También en la zona sur se está incorporando este uso de estos films que son muy delgaditos y que son oxodegradables, es decir que degradan químicamente con la luz del sol. Permiten la siembra de maíz, que era impensado en el sur, pero hoy en día esta tecnología permite que la semilla germine y que la planta crezca bajo de ella, hasta tener la suficiente fuerza para salir, ha hecho posible que el sur produzca sus forrajes en base a maíz, por ejemplo y no tenga que estar trayéndolo desde el norte con todo lo que ello significa.

Hemos hablado del uso de estas prácticas eficientes, de la simbiosis funcional (Lámina B17).

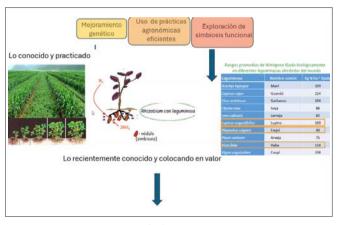


Lámina B17

Lo conocido y practicado es que, en las raíces de las leguminosas, llámese porotos, habas y arvejas viven *rizobium*, es decir son microorganismos que están asociados a estas bacterias y tienen la gran capacidad de captar el nitrógeno del aire, lo incorporan al suelo y la planta es capaz de alimentarse de ese nitrógeno. Eso permite un ahorro de lo que es la fertilización nitrogenada. Eso se sabe y se hace. Entonces tenemos, por ejemplo, aquí el cultivo de estas leguminosas asociadas al maíz. El maíz necesita bastante nitrógeno y este cultivo le aporta nitrógeno. Por ejemplo, para que dimensionemos, el lupino es capaz de incorporar 160 kg al año de estos *risobium*

Lo que viene y lo que se está potenciando es el uso de estas bacterias promotoras de crecimiento que también trabajamos nosotros en esta unidad (Lámina B18).

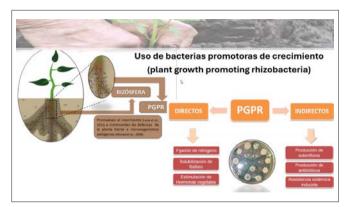


Lámina B18

Es decir, no solo tenemos estos microorganismos, sino que también tenemos estas bacterias que promueven por ejemplo la solubilización del fósforo, la síntesis de auxinas. Todos ellos en su conjunto van a permitir mejorar estas plantas. Fijamos nitrógeno, solubilizamos fósforo, estimulamos la producción de hormonas y todo ello nos ayuda a que la planta esté mejor preparada para el estrés. Es como ponerle un abrigo que le ayude.

Por ejemplo, esta es una planta control sin estas bacterias y sometidas a frío 7° o 4° (Lámina B19).

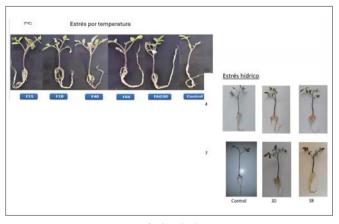


Lámina B19

Tenemos mucho mayor desarrollo en estas que están con estas bacterias promotoras de crecimiento. Quizás una mejor foto es esta, donde fíjense el desarrollo radicular. Todo esto tiene que sostener el crecimiento del tomate y la producción, pero cuando incorporamos bacterias y la sometemos a frío, la planta realmente está mucho más posibilitada para enfrentar aquello.

Con respecto al mejoramiento genético, yo les decía que es de largo plazo (Lámina B20).

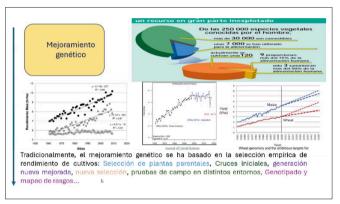


Lámina B20

Lo que se hacía sin cambio climático y funcionó muy bien es este manejo tradicional, donde el genetista iba a terreno, seleccionaba plantas parentales, un buen padre, una buena madre, los cruzaba y generaba nuevas generaciones mejoradas, lo que llamamos F1 y F2. Hacía selecciones, después la llevaba a campo y con eso teníamos nuestros cultivares, por ejemplo, de maíz. Iba aumentando con esta forma de seleccionar el rendimiento de manera sostenida en la mayoría de los países. Pero fíjense qué pasa cuando entramos derechamente con el cambio climático, este rendimiento empieza a caer, porque esta selección se hizo en base a un "todo bien". Todo bien en temperatura, todo bien en agua y se fueron quitando genes.

Nosotros tenemos 250,000 especies vegetales conocidas, de las cuales 30,000 eran comestibles y se usaban 7.000 plantas. Eso se fue reduciendo y empezamos a cultivar 120 plantas. Muchas de ellas proporcionan más del 75% de la alimentación humana. Y solo el 3% abarca más del 50%. Entonces es crítico porque nosotros hemos perdido un pool de genes y genes que son importantes justamente

para enfrentar el cambio climático. En el caso del maíz ha pasado exactamente lo mismo y se repite.

Ahí entra el mejoramiento genético, pero ocupando las "ómicas" esto quiere decir la genómica, la transcriptómica, la proteómica metabolómica (Lámina B21).

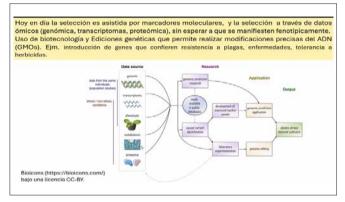


Lámina B21

Es decir, ir a nivel del ARN y del ADN porque eso nos permite seleccionar sin tener que ir a terreno. Seleccionar con marcadores moleculares y orientado justamente a lograr que las plantas sorteen adecuadamente este estrés abiótico. Entonces estamos volviendo a buscar estos genes para traerlos nuevamente hacia adelante con los cultivos y poder nuevamente ir aumentando nuestra producción, dado que las áreas de suelo están disminuyendo.

Algunas innovaciones (Lámina B22).



Lámina B22

Por ejemplo en Chile, se producía arroz en Linares, en lugares que se podían llenar con agua, porque el arroz es un cultivo que necesita estar bajo mucha agua, pero hoy en día es posible cultivar trigo en suelo seco lo que es impensado. Y nosotros somos uno de los pocos países que estamos produciendo arroz en suelo seco. En ese sentido hay que agradecer el gran aporte que ha hecho el Instituto Nacional de Investigación Agraria, con su variedad diamante que se adapta muy bien a ese tipo de suelo, con lo que ahorramos un 30% de semilla y además agua. Esto, para nosotros es increíble.

Luego, el uso de las "nano", es decir hola nanopartícula, nanofertilizantes (Lámina B23).



Lámina B23

Nos ayuda mucho porque controla las deficiencias nutricionales, pero en pequeñas cantidades entonces no se pierde. Por ejemplo, frente a una gran precipitación en un momento los nutrientes se pierden por lixiviación y van a los ríos y aguas subterráneas. Pero con las nanopartículas, que son pequeñas dosis que se colocan a través de las plantas, pueden capturar muy rápidamente los nutrientes o los pesticidas que se pueden colocar. Dentro de todo lo adverso, eso ha sido un avance importante para ir aumentando los rendimientos, transformar los sistemas biológicos que tenemos y gestionar también el estrés de las plantas.

También dentro de las innovaciones, por supuesto las plataformas y las herramientas para las distintas prácticas de la agricultura inteligente y agricultura de precisión (Lámina B24).



Lámina B24

Hoy en día yo puedo estar con el teléfono, nuestros agricultores pequeños, medianos y grandes ya saben utilizar estos teléfonos. Se colocan sensores dentro de estos micro túneles y puedo ver la temperatura desde el teléfono puedo dar más agua o menos agua, abrir estas coberturas o cerrarlas. Puedo detectar cuáles son los cultivos que están por diferencia de color, con algún estrés hídrico y regar no todo el paño, sino que aquello que está complicado.

También controlar enfermedades y plagas. Sin duda importante, pero nunca hay que olvidarse que que estos son instrumentos, que nos ayudan mucho, pero que tenemos que saber interpretarlos y actuar en el momento preciso, porque esto es como tomarse la temperatura o el termómetro que tengo 39 de temperatura y no saber que tengo fiebre y que hay que tomar algo. Es decir, no es solo la tecnología, sino que la sapiencia que permita la integración y para eso necesitamos siempre estar en terreno.

Esta unidad de hortaliza (Lámina B25).

Aquí hay una foto es una unidad muy linda, de la Universidad de Concepción en Chillán. Tenemos mucha tecnología en nuestra estación experimental en Nogal, que para nosotros es un baluarte que tenemos.

Agradezco en nombre de nuestro equipo que somos poquitos, pero nos multiplicamos como podemos, Antonio Pinto, que es doctor en operación de investigaciones y toma de decisiones y Luis Zañartu que es nuestro técnico y con quien vamos a terreno y solucionamos los problemas.

Muchas gracias.

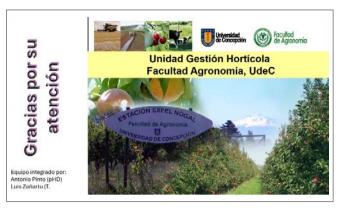


Lámina B25

A continuación de las conferencias, los asistentes realizan comentarios y consultas. Se reproducen las más relevantes.

Sr. Raúl Becerra.

—Pablo, te felicito por la presentación y por los avances del grupo. La consulta es: el efecto del cambio climático fue incorporado recientemente en los procesos de evaluación ambiental en Chile, para lo cual existen dos guías con recomendaciones. Sin embargo, este criterio exige evaluar el cambio en los valores medios de las variables meteorológicas, no así de eventos extremos por varios motivos, por ejemplo, por la incertidumbre y diferencias entre los distintos GCM y la falta de alineamiento por parte de la DGA en el diseño de obras. ¿Existen avances respecto a esta materia por parte del grupo de hidrología de la Universidad de Chile? ¿Qué se puede comentar respecto de la estimación de eventos extremos, considerando los efectos del cambio climático para aplicaciones de evaluación ambiental y o diseño de obras?

Sr. Pablo Mendoza.

—La respuesta es sí. Está el trabajo que ha liderado Catalina Jeréz, desde el grupo Aguas de la MTC. En este trabajo tengo entendido que Catalina evaluó 18 modelos climáticos del CMIP6 en la zona norte y centro de chile, utilizando tres criterios. Primero la capacidad de los modelos climáticos de replicar propiedades climatológicas, la capacidad de replicar eventos extremos húmedos como segundo criterio y hay un tercer criterio que lo tenía por ahí, pero se me perdió, pero sí es un trabajo que en el que incluso Catalina evaluó

distintos métodos de escalamiento, apuntando a la capacidad de los modelos de ser utilizados para el diseño de obras de ingeniería. A modo más general, la clave es seleccionar bien las métricas de evaluación y que esas métricas de evaluación estén orientadas a la aplicación específica que uno quiera darle los modelos climáticos.

Sra. Ximena Vargas.

—¿Por qué siempre estamos evaluando en las condiciones más dramáticas, siempre el 8,5 ya sea en CMIP5 o CMIP6? ¿Hay algunas evaluaciones de qué es lo que sucede en los otros escenarios posibles?

Sr. Pablo Mendoza.

—La respuesta es no. No hemos hecho evaluaciones para otros escenarios. Para el caso del balance hídrico Nacional, recuerdo que la elección de la RCP 8.5 también se basaba en para dónde iba la tendencia. Entonces, claramente la cosa no se veía bien y curiosamente hace un par de meses Nicolás dio una presentación hablando precisamente de este tema de los modelos climáticos, donde mostraba un gráfico de cómo íbamos respecto la temperatura y gases de efecto invernadero y las posibles trayectorias que hay. Actualmente estamos en un punto de inflexión en el que todo puede suceder. Entonces, perfectamente nosotros podríamos haber hecho la evaluación como dice Jimena en algún escenario más optimista, pero optamos por ser más fatalista por una decisión subjetiva.

Sr. Jeremy Barbay.

—¿Cómo afectaría o afectará la agricultura en Chile una súbita escasez de las energías fósiles? ¿Cuánto tiempo se necesitará para reemplazar fuerza mecánica por fuerza animal?

Sra. Susana Fischer.

—La verdad que yo creo que no estamos preparados bajo ningún punto de vista, ya que le hemos dado más importancia a otros aspectos. Estamos tan acostumbrados a usar la energía fósil y además no ha habido, bajo mi punto de vista y me hago responsable, no hay políticas hacia la adopción de energía renovable o animal. Si la ha habido para la generación de electricidad, que nos repercute. Por eso vemos tantos paneles solares, pero en realidad no estamos preparados. ¿Cuánto nos demoraríamos? Bastante, más de 10 años seguro, porque si estamos hablando de fuerza animal estamos hablando principalmente de caballos, pero son los percherones y los bueyes. Pero hoy en día hay muy poco material genético, para que empiecen a reproducirse y generen número, eso toma tiempo esto no es espontáneo así es que no, no estamos preparados para nada.

Sr. Jeremy Barbay.

—¿Cuán factible es el concepto de plantar agua y de agricultura regenerativa, en un contexto de cambio climático mundial?

Sra. Susana Fischer.

—La agricultura regenerativa es algo que se ha ido impulsando en el último tiempo y tiene que ver con este esquema que le mostraba de qué podemos hacer. Tiene que ver con transformar los manejos agronómicos, yo les decía la parte genética, la parte simbiosis. Transformar estos manejos tiene que ver con la agricultura regenerativa, donde tú vas mezclando distintas especies o sea ya no haces un monocultivo. Además, cosechas aguas. Pero tiene que ver justamente con esto de colocar mulch o acolchado de paja u otros residuos. En general, cuando hay curvas de nivel crear pretiles, las mismas cosechas de las aguas lluvias etc. Entonces, es algo que se está impulsando y los agricultores que más lo han adoptado en Chile, son de la agricultura familiar y eso también es una riqueza de nuestro país, nosotros tenemos muchos saberes que viene de varias generaciones anteriores, así que es un reconocimiento a la agricultura familiar campesina.

Sr. Javier García.

—He escuchado de manejo holístico de ganado entre cuyos beneficios está en la recuperación del suelo y la captura de carbono en suelo. ¿Qué saben de eso? ¿Tienen experiencia? ¿Lo han estudiado?

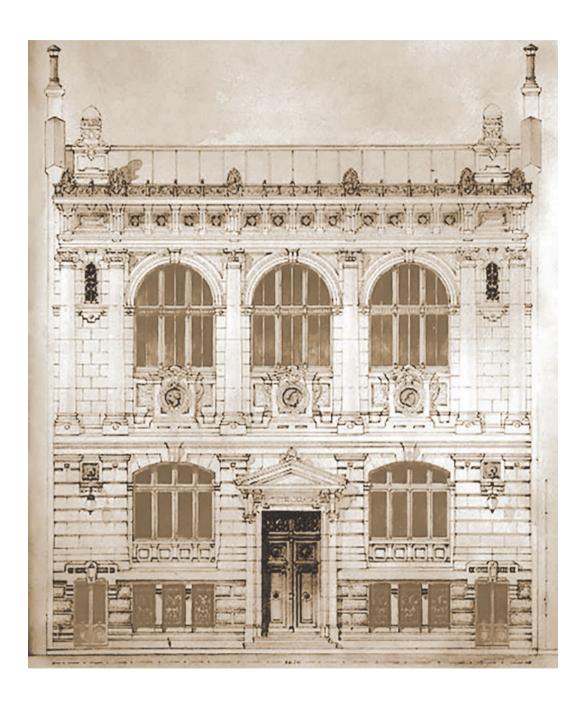
Sra. Susana Fischer.

—Si. También tiene que ver un poco con lo que es agricultura regenerativa, que en el fondo es esta visión de sistema integrado, donde no es el animal o este ganado, sino que es su ecosistema y a su vez contextualizándolo a este planeta. Como los animales y en general los bovinos se culpan que generan aumento de CO₂ que es cuestionable, entonces con la alimentación diferente se puede ir bajando las emisiones de CO₂. Por eso le llaman holístico. Es un paradigma. Tenemos un problema planetario, que no es de Chile, Argentina ni Perú, es de todos y nosotros deberíamos verlo holísticamente,

desde arriba y como un todo. Y cada vez nos damos cuenta de que el vecino, yo, tú, él, actuamos de manera individual y entonces pensamos en nuestro ganado bovino, para que gane kilos de carne y es así con todo. Entonces, realmente estamos en un paradigma contradictorio. Nosotros debemos colaborarnos, ser menos egoístas y compartir saber. Eso es solamente buscando siempre en la naturaleza lo que hace la naturaleza y como nos beneficia. La mirada holística es importante y pienso que es lo que deberíamos hacer.

Fin de la Conferencia.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS



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

En esta ocasión se presenta un extracto de las entrevistas realizadas a los Ingenieros Patricio Aceituno Gutiérrez y Sebastián Bernstein Letelier.

Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.

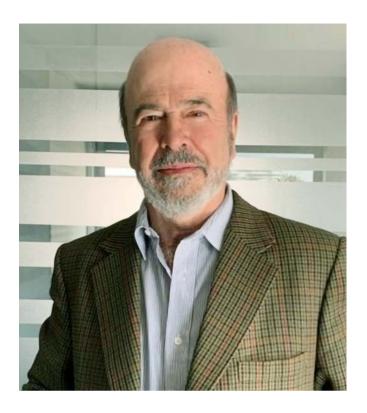
SEBASTIÁN BERNSTEIN LETELIER

Gran impulsor del desarrollo del sector energía en Chile y otros países.

Sebastián nos comenta que decidió estudiar ingeniería porque era bueno para las matemáticas. Siendo muy chico le regalaron un telescopio, lo que le permitió ir acercándose a los temas de la física. Fue orientado por su abuelo materno Miguel Letelier Espínola que fue un notable ingeniero, agricultor y destacado personaje público, y también recuerda con cariño a don Raúl Devés, con quien tuvo la oportunidad de conversar en qué consistía la carrera de ingeniería. Por estas razones y sus valores religiosos, decidió ingresar a estudiar ingeniería en la Universidad Católica. Cursó hasta el tercer año, pues luego su familia se trasladó a Francia y siguió su carrera en la Ecole Centrale de París, titulándose en 1968. Recuerda que en general le gustaron todos los ramos de la carrera, salvo Geometría Descriptiva.

Una vez recibido, trabajó un año y medio en Électricité de France, en el Departamento de Estudios Económicos. A mediados de 1970, de regreso en Chile, ingresó a Endesa en la Oficina de Planificación, donde trabajó hasta 1978. Le tocó implementar la aplicación de conceptos económicos y de optimización, en la planificación de sistemas eléctricos, así como la evaluación económica de proyectos de generación, transmisión y distribución de electricidad. Aprovecha de hacer un recuerdo especial de dos personas que fueron sus jefes, a los que recuerda por su extraordinaria calidad humana y profesional: Mario Zenteno y Pablo Jaramillo. Más adelante trabajó en la Comisión Nacional de Energía entre los años 1978 y 1990, en la planificación de sistemas eléctricos y luego diseño y establecimiento de marcos regulatorios y sistemas de precios para el funcionamiento de mercados competitivos en la provisión de combustibles y de electricidad. Destaca que fue coautor de la Ley Eléctrica de 1982, aún vigente, la cual ha tenido algunos cambios, pero que ha mantenido todos sus aspectos esenciales; en 1984 fue designado Secretario Ejecutivo de la CNE, cargo que desempeñó hasta marzo 1990. También fue director de las empresas ENAP y ENACAR, en la segunda parte de la década de los ochenta, lo que representó también para él un desafío por el hecho de tener que integrarse a fondo en la gestión de empresas de gran relevancia, con alta responsabilidad y exposición pública.

En 1990 crearon junto a Renato Agurto, "Synex Ingenieros Consultores", donde han trabajado en más de 20 países en



reformas del marco institucional, regulatorio y legal para el sector energía, así como en estudios de mercado eléctrico y evaluación de activos eléctricos, para inversionistas y para la banca. Nos dice que ha conducido o participado, en Chile y en el extranjero, en estudios de evaluación de proyectos o activos de generación por más de 10.000 MW, y ha elaborado sistemas de precios y preparado leyes para el sector eléctrico que han sido aplicadas con éxito en 10 países. Considera que su principal aporte como ingeniero ha sido participar muy directamente en la modernización del sector energía de Chile y de varios países que reconocieron el rol pionero de Chile en esta materia. En nuestro país se lograron los objetivos de descentralización, creación de mercados competitivos en producción de electricidad y combustibles, regulación eficiente de los segmentos monopólicos y fuerte participación privada en electricidad, carbón y gas.

Como anécdota nos relata la experiencia que tuvo que vivir en sus primeras actividades como consultor en el extranjero donde tuvo lecciones de humildad cuando recorrió villorrios aislados en Madagascar, haciendo encuestas rurales y pesando leña o bostas de ganado que se usaban como combustible en las chozas, para preparar estadísticas y balances de energía.

Sebastián ha sido integrante desde 1990 del Instituto Libertad y Desarrollo. Nos explica que es un think-tank que promueve las ideas de libertad y responsabilidad individual, así como la idea de un Estado pequeño pero activo actuando en un marco de subsidiaridad. El Instituto además provee análisis conceptual y legal para asesorías a parlamentarios sobre los proyectos de ley que surgen desde el Poder Ejecutivo y del Congreso. Desde hace más de 15 años es miembro del Consejo de Políticas Públicas de ese Instituto. Ha participado también activamente en el Instituto de Ingenieros de Chile, donde fue distinguido el año 2005 con el premio "Al Ingeniero por Acciones Distinguidas".

Sebastián es multifacético, ya que además de su actividad profesional, ha incursionado junto a un hermano en el campo de la agricultura en la zona de Acúleo, donde desarrollaron un proyecto de bombeo y riego para los cultivos de la propiedad a orillas de la laguna, que operó perfectamente varios años hasta la sequía que irrumpió en la zona. Es además piloto privado desde 1970 y socio del Club Aéreo de Santiago, habiendo participado activamente en su Directorio. En lo académico señala que fue profesor titular del curso de Probabilidades en la Escuela de Economía de la Universidad de Chile, por un período de 3 años, en la década de los 70, y profesor titular del curso de Ingeniería Económica en la Escuela de Ingeniería de la UC a principios de la década de los ochenta. Ha participado como expositor en innumerables seminarios sobre reformas institucionales y regulatorias y diseños de sistemas de precio para la energía, para organismos internacionales como el Banco Mundial, IFC, BID, US AID, Naciones Unidas en los más de 20 países en que ha trabajado.

Le pedimos que se defina en una palabra y nos dice que es un ingeniero agradecido de las oportunidades que se le han dado en la vida, y que cree haber realizado aportes efectivos en políticas públicas en materia de energía. Se considera una persona mezcla de liberal y conservador; liberal en lo económico y aceptación de la autonomía de los individuos y de sus libertades personales y conservador en cuanto a

valores morales, religiosos, apego a los valores familiares y al concepto de nación. Le asigna un alto valor al sentido de las responsabilidades personales en los hechos de la vida

Pensando en la ingeniería en el futuro, nos cuenta que cuando estudió ingeniería, se usaba la regla de cálculo y las Tablas Larsen. El desarrollo posterior de los computadores con sus softwares y diversidad de lenguajes de programación, cambiaron radicalmente la forma de trabajar y la eficiencia para desarrollar tareas que antes tomaban mucho tiempo. Sostiene que no ha habido cambios sustanciales de los elementos esenciales que definen la ingeniería como disciplina, aunque ciertamente sí en las herramientas disponibles. Considera que el desarrollo de las tecnologías de información, la multiplicación de las capacidades de los computadores, la robótica y la inteligencia artificial, están produciendo un cambio en la ingeniería, la cual debe afrontar paralelamente desafíos importantísimos en el campo de la mitigación y adaptación al cambio climático, así como su aporte a otras áreas del conocimiento.

Le solicitamos contarnos que les recomendaría a las nuevas generaciones de ingenieros, y aunque considera pretencioso dar consejos, sugiere que deben valorar el no centrarse durante toda la vida en una única especialidad, ya que eso permite tener una visión más global de las distintas áreas en que se desarrolla la ingeniería; ello equivale a estar dispuestos al desafío de cambiar de lugar de trabajo y de nivel de responsabilidad. Considera que es importante durante la vida profesional asistir a conferencias y seminarios en que se analicen temas distintos al cual uno dedica la mayor parte de su tiempo, y tomar en alguna etapa de la vida cursos de postgrado. Recomendaría asimismo colaborar con instituciones, como por ejemplo el Instituto de Ingenieros y el Colegio de Ingenieros, así como en organizaciones sociales en las casi siempre que se pueden efectuar aportes significativos. Paralelamente, si se da la ocasión, aceptar el desafío de llevar a cabo emprendimientos personales. Considera muy importante también, dejar tiempo para la familia, los amigos, los deportes y los hobbies.



PATRICIO ACEITUNO GUTIÉRREZ

Una vida dedicada a la academia y a su Universidad.

Patricio se convenció de estudiar ingeniería cuando en el colegio Instituto Zambrano en Santiago, donde terminó la enseñanza media, su profesor de matemáticas lo convenció que tenía suficientes habilidades matemáticas para seguir esa carrera. Todo esto a pesar que su padre le recomendaba seguir una carrera técnica en la que en ese entonces era la Universidad Técnica del Estado, actualmente la Universidad de Santiago. Así fue como ingresó con un muy buen puntaje a ingeniería en la Universidad de Chile. Siempre ha agradecido la formación dura y rigurosa del Plan Común, que ha sido una muy buena base para todo su desarrollo profesional, y donde recuerda el rigor de la formación entregada por los profesores Moisés Mellado, Dionisio "Cuate" Garrido, Francisco Santamaría y Carlos Mori. En su carrera académica sus modelos a seguir fueron los profesores Humberto Fuenzalida Ponce, José Rutllant y Pablo Ulriksen. Finalizado el Plan Común analizó las distintas especialidades que le ofrecían, y en base a una breve encuesta entre sus compañeros se decidió por la ingeniería eléctrica, la que todos decían era la más difícil. Le gustaban los ramos de Algebra y Computación, en los cuales fue posteriormente ayudante. También disfrutaba en Dibujo Técnico, porque tenía más habilidades que una compañera que le gustaba, y así podía ayudarla con las tareas, nos dice sonriendo. Fue en cuarto año cuando ingresó como ayudante de investigación en un pequeño grupo que trabajaba en meteorología en el Departamento de Geofísica, liderado por los ingenieros eléctricos José Rutllant y Pablo Ulriksen, en temas vinculados con los aspectos meteorológicos de la contaminación atmosférica de Santiago. Una vez rendido el examen para aprobar la memoria de título se convenció que no trabajaría como ingeniero eléctrico, y coincidentemente le ofrecieron un puesto como académico en el Departamento de Geofísica. Su historia profesional se desarrolló por completo en la Universidad de Chile, como académico de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Patricio nos relata una anécdota reciente. Su memoria de título consistió en el diseño de un precipitador electrostático para captar material particulado en chimeneas industriales. Hace poco tiempo atrás fue convocado por un grupo de estudiantes que habían desarrollado con éxito un proyecto en el Centro de Innovación de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, y para su sorpresa le contaron que se habían



inspirado en su trabajo de memoria que consistía en el diseño y construcción de equipos de captación de partículas en chimeneas domiciliarias. Al ver que se habían interesado por lo que había hecho hace cincuenta años, sintió que se reivindicaba con la ingeniería eléctrica.

En enero de 1973, siendo todavía estudiante, participó en una expedición a la Antártica a cargo de la realización de mediciones geomagnéticas. En ese viaje en el buque Yelcho de la Armada, tuvo la suerte de conocer y compartir con el oceanógrafo Jacques Cousteau que efectuaba investigaciones en su conocido barco Calypso, ya que se juntaron para abastecerlos de combustible. También recuerda que en el verano de 1974 participó en las observaciones meteorológicas en una expedición al glaciar Muñoz Gamero en la XII Región, liderada por el geólogo Cedomir Marangunic. En esa expedición experimentó en dos ocasiones la cercanía de la muerte: la primera, cuando navegando hacia el extremo del glaciar en un bote Zodiac junto a otro de los miembros de la expedición, se desató una tormenta y el motor del bote se detuvo por largos minutos hasta que afortunadamente lograron que arrancara de nuevo. La segunda ocasión fue cuando subieron desde la base del glaciar hasta un refugio instalado en el hielo y empezó a nevar con viento intenso, lo que los hizo perder casi totalmente la orientación. En 1975 obtuvo una beca para un curso sobre meteorología agrícola en Israel. En esa oportunidad con un colega español que asistía al curso viajaron a la ciudad de Gaza, y conocieron in situ las restricciones que experimentaba la población local. Patricio nos comenta que no podía imaginar entonces las desgracias que caerían sobre ella, al ver hoy su realidad cincuenta años después. Luego vinieron los cinco años de formación de doctorado en meteorología durante la década de los 80's en la Universidad de Wisconsin, EEUU, incluyendo una gira por casi todos los países de Sudamérica, para recopilar información para la tesis, que fueron muy relevantes para su desempeño profesional y académico en los años que siguieron.

Aunque no ejerció la carrera profesional en la cual se formó, sus contactos con la ingeniería fueron numerosos a través de asesorías profesionales con organismos públicos y privados. En la segunda mitad de la década del setenta participó como socio en una empresa de consultoría, Climdata Ltda., especializada en temas de meteorología y clima. De regreso del doctorado colaboró en labores específicas solicitadas por la Dirección General de Aguas, el Ministerio de Agricultura, Endesa, Colbún, el CDEC, y Aguas Andinas. En particular, comenta que un proyecto FONDEF que realizó junto al ingeniero José Vergara, también académico de la Dirección de Geofísica, fue el primero que se realizó para introducir la variabilidad climática estacional, y en especial las condiciones pluviométricas asociadas al fenómeno El Niño, en la planificación de la generación de energía eléctrica en Chile.

Patricio está satisfecho de haber aportado a la formación de tantos ingenieros e ingenieras. Los principales desafíos que enfrentó en los 47 años que estuvo formalmente ligado a la Universidad de Chile, ocurrieron en los últimos 8 años, cuando ocupó los cargos de Vicerrector de Asuntos Académicos de la Universidad y luego Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Fue un gran orgullo para él, dirigir esta más que centenaria institución que ha formado decenas de miles de ingenieros e ingenieras desde la primera promoción el año 1856. Por otra parte, hizo un gran aporte a la historia de la ingeniería chilena a través de la digitalización de los Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, que pudo implementar cuando ocupó el cargo de Decano.

Respecto de la evolución de la ingeniería en Chile, le preocupa que por razones de marketing se esté mal utilizando en forma indiscriminada el término "ingeniería", en la denominación de nuevas carreras profesionales, cuyos propósitos y exigencias formativas distan radicalmente de la formación de la ingeniería tradicional.

Si tuviera que indicar cuál es la actividad que más satisfacción le ha dado en su vida laboral, no tiene dudas en afirmar que es la docencia que ha realizado en la Escuela de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de Beauchef. Es por esto que, nos confiesa, fue particularmente gratificante para él haber recibido el año 2023 la distinción del premio "Raúl Devés Jullian" del Instituto de Ingenieros de Chile por su esfuerzo y trabajo en la enseñanza de la ingeniería en Chile.





ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Vol. 136, N° 2 - AGOSTO 2024

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

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

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

Anales del Instituto de Ingenieros Vol. 136, N° 2, agosto de 2024

Contenido

ACTUALIZACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO REGIONAL CUENCA MAIPOMAPOCHO.

Pág. 33

Edson Landeros P., Carlos Poblete T., Jorge Reyes A.

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN PROCESOS HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CACHAPOAL.

Pág. 43

Marcia Paredes A., Ximena Vargas M. y Pablo Mendoza Z.

Editor

Raúl Uribe Sawada, Instituto de Ingenieros de Chile.

Comité Editorial

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

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

Jorge Gironás L., Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (SOCHID)

Pablo Oróstegui T., Sociedad Chilena de Geotecnia (SOCHIGE)

Camila Balbontín T., Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte (SOCHITRAN)

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

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

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

ACTUALIZACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO REGIONAL CUENCA MAIPO-MAPOCHO

Edson Landeros P. 1, Carlos Poblete T. 2, Jorge Reyes A. 3

RESUMEN

Si bien el último estudio realizado para la cuenca es reciente (PEGH Maipo 2021), su modelación utilizó herramientas numéricas existentes (MAPA 2015, MAGIC 2008, Modelo Hidrogeológico Regional 2000), las cuales fueron recalibradas y acopladas. Dado que la mayoría de estas herramientas fueron creadas en periodos donde la oferta y la demanda de la cuenca eran muy distintas a la actualidad, recalibrarlas puede no ser suficiente.

Junto con la gran cantidad de información generada en los últimos años, la principal motivación para una actualización completa de la herramienta de modelación fueron las desviaciones observadas en los resultados de los modelos vigentes, especialmente en los niveles del acuífero. Es así como el objetivo principal del trabajo fue elaborar una herramienta que representara correctamente la situación actual de los recursos hídricos en la cuenca y permitiera realizar simulaciones futuras validadas.

La realización de este trabajo permitió mejorar la comprensión del sistema hídrico asociado a la cuenca Maipo hasta Melipilla. Si bien el estudio y modelación abarcan desde 1950, se considera que los últimos años (1990 en adelante) son los más apropiados para caracterizar de los recursos hídricos de la cuenca.

El subsistema subterráneo muestra un claro desequilibrio debido a recargas que se han ido reduciendo en el tiempo y sondajes activos que han ido en aumento, situación que está ocasionando el vaciamiento del acuífero regional, condición que la nueva herramienta numérica simula correctamente.

El subsistema superficial de cordillera muestra caudales en los ríos con tendencia a la baja, agudizadas por la sequía que afecta a la zona en la última década. El mayor aporte glaciar que ha recibido el río Maipo en los últimos años ha contrarrestado en parte esta tendencia, sin embargo, las proyecciones muestran que estos aportes disminuirán rápidamente en las próximas décadas, por lo cual es positivo para las simulaciones futuras que la actualización del modelo superficial las considere adecuadamente.

En la zona del valle, se observan en el río menores afectaciones relativas en las últimas décadas que en los ríos de cabecera, lo cual estaría relacionado a la creciente descarga de aguas servidas tratadas de la ciudad de Santiago más otros efectos. Esta compleja dinámica también fue incorporada a la nueva herramienta, resultados que en estos momentos están siendo revisados.

¹ Gerente de Planificación, Aguas Andinas, <u>elanderos@aguasandinas.cl</u>

² Subgerente de Planificación Técnica y Recursos Hídricos, Aguas Andinas, cpoblete@aguasandinas.cl

³ Jefe de estudios hidrológicos, Aguas Andinas, <u>irevesa@aguasandinas.cl</u>

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Tan importante como contar con una herramienta de modelación, para estudiar sistemas complejos, es mantener dicha herramienta actualizada. Actualmente, el modelo numérico vigente para simular los recursos subterráneos de la cuenca Maipo-Mapocho data del año 2000¹. Si bien el último estudio realizado para la cuenca Maipo es reciente², su modelación utilizó la misma herramienta numérica anterior para simular el acuífero y una combinación de modelos superficiales también existentes³ que fueron acoplados con el modelo subterráneo en la zona del valle.

La gran cantidad de nueva información disponible podría ser suficiente motivo para evaluar una actualización de las herramientas, sin embargo, la principal motivación para este estudio son las desviaciones en los resultados respecto de las observaciones, especialmente en los niveles del acuífero. Es así como el objetivo principal del trabajo fue elaborar en conjunto con la Autoridad una nueva herramienta numérica que represente correctamente la situación de los recursos hídricos en la cuenca Maipo-Mapocho y otorgue mayor validez a simulaciones futuras que se puedan realizar considerando diversos supuestos naturales y antrópicos.

2. METODOLOGÍA UTILIZADA

Si bien las principales diferencias se observan en el dominio subterráneo, se decidió modelar también el dominio superficial dada la relación que existe entre ambos subsistemas dentro de la cuenca. Para facilitar el uso de la nueva herramienta, se optó por una estrategia de modelación tradicional, mediante plataformas ampliamente utilizadas como Groundwater Vistas para la modelación subterránea y WEAP para la superficial. Los nuevos resultados obtenidos fueron contrastándose con los previamente alcanzados en el estudio PEGH 2021, por tratarse del principal estudio de referencia actual.

3. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

De la misma forma que en el estudio original del año 2000, en la presente actualización se intentó considerar toda la información y el conocimiento hidrológico e hidrogeológico que se tiene del sistema. Además de la recopilación usual de información y estudios, se destacan las siguientes actividades:

3.1. TERRENO

Al comienzo del estudio se realizaron 2 actividades relevantes en terreno, necesarias para cubrir falta de información necesaria:

- Se catastraron 1136 sondajes y 145 bocatomas mediante encuesta tipo, permitiendo verificar, corregir e incluso agregar información de los usuarios existentes a las bases de datos iniciales.
- Se realizó una campaña geofísica de 300 km mediante 481 sondeos CSAMT y 118 sondeos SE⁴, los que, contrastados con perfiles de pozos disponibles, permitieron generar una completa geometría del relleno.

3.2. REPRESENTACIÓN DE PROCESOS

Es importante destacar algunos procesos que intervienen en la dinámica de la cuenca, cuyas representaciones fueron mejoradas gracias a la nueva información disponible:

- Glaciares: se precisó su aporte y tendencias según estudios recientes.
- Descargas aguas servidas: se reconstruyeron según la evolución en el tiempo del tratamiento.
- Impermeabilización de la ciudad: fenómeno considerado para limitar la recarga al acuífero.
- Aguas lluvias: combinando topografía de la cuidad con la red de colectores de aguas lluvias.

3.3. MODALIDAD DE MODELACIÓN

La forma de representar la interrelación entre los subsistemas superficial y subterráneo en la cuenca fue motivo de análisis. En un principio se optó por utilizar una modalidad acoplada de WEAP con Modflow, sin embargo, se observaron diversas dificultades que obligaron a cambiar de estrategia.

¹ DGA SIT n°62 (2000), Modelo de Simulación Hidrológico Operacional cuencas de los ríos Maipo y Mapocho

² DGA SIT n° 471 (2021), Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca de Maipo (PEGH Maipo)

³ MAPA, CCG 2015 y MAGIC, DGA 2008

⁴ CSAMT: método audio magnetotelúrico con fuente controlada; SE: método sismo-eléctrico.

Con el objetivo de asegurar que los balances en los dominios superficial y subterráneos se conserven, los modelos respectivos se fueron operando y ajustando individualmente. El acople de los modelos, si bien facilita la operatoria, dificulta la verificación de la calidad y de la consistencia del modelo integrado, dado que WEAP y Modflow modelan los sistemas con estructuras matemáticas no directamente homologables y los enfoques conceptuales para representar algunas componentes son muy diferentes entre sí. La revisión de la consistencia y de la coherencia entre los modelos no es automática y se debe realizar por fuera de ambos ambientes de modelación, por lo que la automaticidad de uso se pierde.

Finalmente se optó por un modelo integrado sin acople, en el cual los flujos que vinculan el sistema superficial con el subterráneo se determinan desde el modelo subterráneo (su detalle y complejidad generan mayor confiabilidad), magnitudes que se verifican iterativamente en los balances del modelo WEAP (ajustando sus parámetros) hasta lograr que sean semejantes. Lo anterior permite, además, contar con 2 herramientas que pueden ser operadas separadamente con la consiguiente reducción de tiempos de cálculo.

4. RESULTADOS MODELACIÓN SUBTERRÁNEA

Dentro de los diferentes aspectos abordados en la modelación subterránea, destacan 2 que resultan clave para entender los resultados obtenidos.

La superficie urbanizada en el área de interés ha aumentado en el tiempo junto con el crecimiento de la ciudad (Figura 5a) y estas áreas pavimentadas tienden a impermeabilizar la superficie del terreno y reducir las posibilidades de recarga a los acuíferos. Si bien desde 2010 en adelante, se observa una fuerte disminución en

la serie de recarga (Figura 5b) que sería atribuida a la severa sequía que atraviesa la zona, el proceso de impermeabilización descrito hace suponer que la vuelta a una eventual condición hidrológica normal no implicaría necesariamente volver a recargas similares las observadas en décadas pasadas.

Por otro lado, década tras década, se ha observado un aumento en la densidad de sondajes activos (Figura 6a) y como consecuencia, los caudales promedios mensuales totales de bombeo de agua subterránea en la zona de estudio han aumentado progresivamente, llegando a valores del orden de 20 m3/s en la última década (Figura 6b).

El desbalance que implica lo anterior genera un consumo de almacenamiento del acuífero (vaciamiento) que ha ido aumentando año tras año, manifestándose como descensos en los niveles de la napa en prácticamente todo el dominio.

La Tabla 1 compara el balance subterráneo global obtenido desde el modelo actualizado (Modelo MM 2023) siguiendo un formato similar al presentado en el PEGH Maipo 2021⁵. Destacan dentro las componentes más importantes, magnitudes comparables en los flujos desde el río a la napa y en los bombeos, sin embargo, grandes diferencias en la recarga distribuida (o difusa) y en los flujos de la napa al río (afloramiento río). La gran recarga impuesta en el PEGH 2021 genera un importante flujo subterráneo que los ríos terminan drenando (gran flujo napa-río), aunque el resultado más relevante es una variación de almacenamiento pequeña, que implicaría un acuífero prácticamente el equilibrio. situación que no se corresponde con el descenso de niveles observado en las últimas décadas (Figura 7) v que sería una condición que la actualización simula correctamente, con una variación del almacenamiento de 9.3 m3/s en el periodo 1990-2021.

ponderaron por un factor 0.7 para hacer las comparables (los pozos de inyección y la recarga especial no se modifican).

⁵ Anexo H Modelación. Dado que el PEGH 2021 abarca un dominio mayor al Modelo MM 2023(3721 km2 vs 2617 km2 respectivamente), las componentes distribuidas espacialmente se

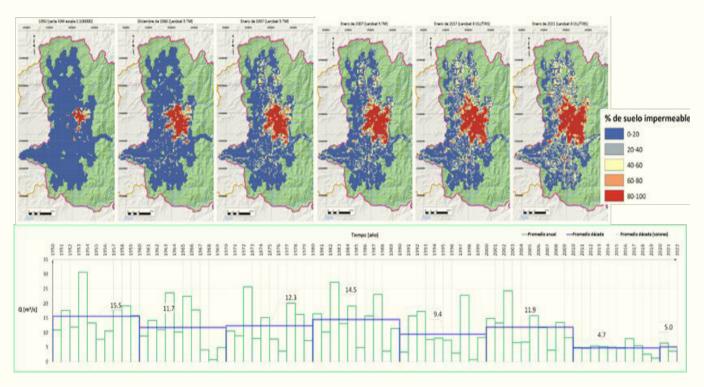


Figura 5: (a) Arriba: Porcentajes de suelo impermeable en el tiempo, (b) Abajo: Recarga impuesta en modelo subterráneo (1950-2021)

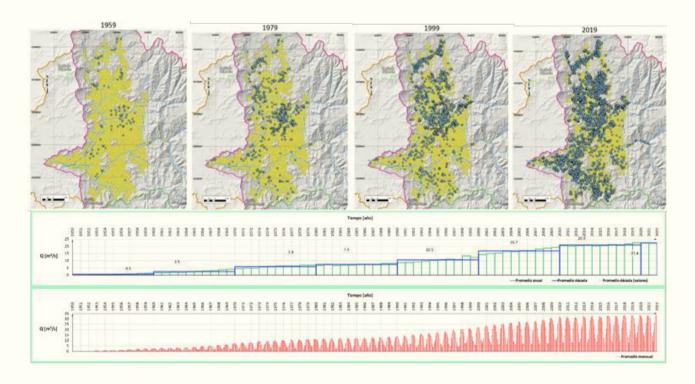
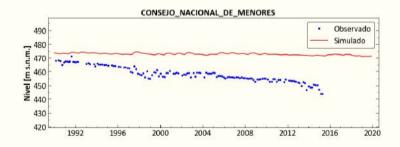


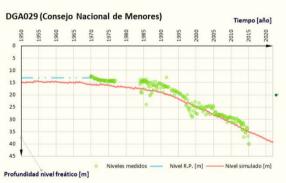
Figura 6: (a) Arriba: Incremento del número de sondajes activos en el tiempo, (b) Abajo: Extracciones de agua subterránea impuesta en el modelo (1950-2021)

Tabla 1: Balance subterráneo global período 1990-2020, izquierda Actualización MM 2023, derecha PEGH Maipo 2021 (*incluye factor de ponderación)

Componente del flujo	Q [m ³ /s]	Componente del flujo	Q [m ³ /s]
		Pozos inyección	1.5
Flujo río-napa	12.6	Flujo río-napa*	13.9
Recarga distribuida	8.4	Recarga distribuida*	37.5
Recarga CHB y GHB	0.2	(recarga especial)	0.2
Total entradas	21.2	Total entradas	53.1
Flujo napa-río	9.4	Flujo napa-río*	26.3
Afloramientos, celdas dren	4.4	Afloramiento, celdas dren*	3.4
Bombeo	16.5	Bombeo*	16.2
		Evapotranspiración (ET)*	7.6
Salidas CHB y GHB	0.2		
Total salidas	30.5	Total salidas	53.4
Consumo almacenamiento	-9.3	Consumo almacenamiento	-0.4

Figura 7: Variación de niveles estáticos (obs vs mod) en pozo de observación DGA. Izquierda Modelo PEGH 2021, derecha Modelo MM 2023





5. RESULTADOS MODELACIÓN SUPERFICIAL

Desde la década lluviosa de 1980 el subsistema superficial de cordillera ha mostrado caudales con tendencia a la baja en los ríos de cabecera (Figura 8) agudizadas por la sequía que afecta a la zona desde 2010. Es interesante destacar que porcentualmente, las

bajas del río Mapocho son mayores que las del río Maipo⁶, lo que estaría relacionado con el mayor aporte glaciar que recibe este último debido su mayor superficie glaciar. Es importante destacar lo anterior, pues las proyecciones muestran que estos aportes disminuirán rápida e importantemente en las próximas décadas (Figura 9).

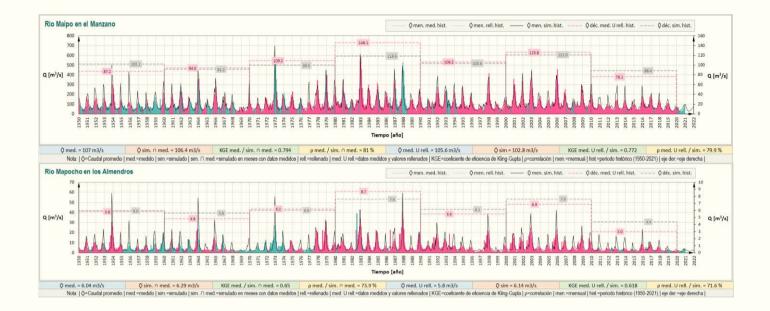


Figura 8: Caudales observados/rellenados y simulados en estaciones fluviométricas DGA

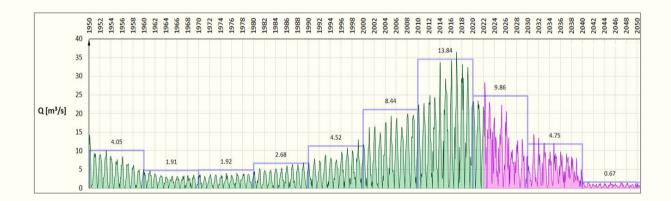


Figura 9: Serie simulada de aporte caudal glaciar en la cuenca Maipo

14%y -48% mientras que Mapocho lo hizo -37%, -21% y -66% respectivamente

⁶ Respecto de la década de los 80s, en las décadas siguientes (90s, 00s y MegaSequía), los caudales de Maipo variaron en -27%, -

El balance superficial obtenido desde el modelo actualizado (Modelo MM 2023) se comparó nuevamente con el presentado en el PEGH Maipo 2021. La Tabla 2 muestra el balance para el sector Cordillera. El modelo PEGH muestra un gran aporte glaciar, mayor al volumen equivalente estimado desde el shape del registro DGA y al estimado en estudios recientes⁷. Esta mayor entrada se equilibra luego con una mayor salida por evapotranspiración. La magnitud del resto de las variables es comparable.

La Tabla 3 muestra el balance para el sector Valle⁸. Revisando aquellas componentes con mayor diferencia entre ambos modelos (relativa a su magnitud), el modelo PEGH muestra un mayor flujo napa-río, que estaría relacionado con lo descrito anteriormente en el

dominio subterráneo, mientras que el Modelo MM 2023 muestra un mayor retorno por riego. Respecto de las salidas, hay poca equivalencia a primera vista, sin embargo, llama la atención que el balance PEGH no incluya la demanda por riego. Al respecto, una nota en su informe señala: "...no se incluye como componente de salida del modelo superficial las extracciones superficiales agrícolas, dado que estas ya están consideradas dentro de 3 componentes: evaporación, recarga desde cuencas v recarga por pérdida de canales". Así las cosas, sumando estas 3 componentes en cada modelo, se llega a valores muy similares (98.7 m3/s PEGH 2021 y 98.1 m3/s Modelo MM 2023), sin embargo, se considera fundamental que esta demanda sea entregada en forma explícita en los resultados, dada su importancia dentro de la cuenca.

Tabla 2: Balance superficial global período 1990-2020 sector Cordillera. Izquierda: Actualización MM 2023, derecha: PEGH Maipo 2021

Componente del flujo	Q [m ³ /s]	Componente del flujo	Q [m ³ /s]
Precipitación	126.5	Precipitación	117.6
Glaciares	8.9	Glaciares	35.2
Total entradas	135.4	Total entradas	152.8
Evapotranspiración	20.7	Evapotranspiración	51.1
Extracciones superficiales	0.8	Extracciones superficiales	2.9
Maipo en El Manzano	104.3	Maipo en El Manzano	93.9
Mapocho en Los Almendros	6.0	Mapocho en Los Almendros	5.1
Otros caudales	0.7	Otros caudales	2.7
Total salidas	132.5	Total salidas	155.7

39

⁷ En CETAQUA 2020 y METEODATA 2023, se señalan aportes glaciares de 13% y 12% respectivamente para El Manzano (sólo respecto del volumen de deshielo). El caudal del Modelo MM 2023 de 8.9 m3/s equivale a un volumen glaciar de 8.5 km3, más cercano al estimado desde el shape DGA (11.3 km3)

⁸ Dado que los dominios son diferentes (dominio PEGH Valle 9522 km2, dominio Modelo MM 2023 6142 km2), las componentes distribuidas se ponderaron por un factor 0.64 para hacerlas comparables.

Tabla 3: Balance superficial global período 1990-2020 sector Valle. Izquierda: Actualización MM 2023, derecha: PEGH Maipo 2021 (*incluye factor de ponderación)

Componente del flujo	Q [m ³ /s]	Componente del flujo	Q [m ³ /s]
Precipitación	77.7	Precipitación*	90.3
Maipo El Manzano	104.3	Maipo El Manzano	93.0
Mapocho en Los Almendros	6.0	Mapocho en Los Almendros	5.0
Efluentes PTAS	14.0	Retornos agua potable	14.0
Flujo napa-río	11.6	Recarga napa-río*	23.2
Retornos de riego	15.6	Riego aguas subterráneas*	5.2
Otras entradas	3.0	Otras entradas	2.3
Total entradas	232.2	Total entradas	233.0
Evapotranspiración	39.7	Evapotranspiración*	67.1
Demanda suplida otros usos	22.2	Ext. superficiales (no agrícolas)	18.0
Caudal pasante Melipilla	93.6	Caudal salida al mar	109.0
Demanda suplida riego	49.1	Recarga cuencas* (Pp+ Riego)	27.7
Infiltración de escorrentía	9.3	Recarga canales*	3.9
Flujo río-napa	9.2	Recarga río-napa*	12.3
Centrales cuenca estero Puangue	7.8		
Total salidas	230.9	Total salidas	237.9

6. CONCLUSIONES

La realización de este trabajo ha permitido mejorar la comprensión del sistema hídrico asociado a la cuenca Maipo hasta Melipilla, generando además una herramienta numérica que representa de mejor forma la situación actual de los dominios superficial y subterráneo. Si bien el estudio y modelación abarcan desde 1950, se considera que los últimos años (1990 en adelante) son los más apropiados para caracterizar de los recursos hídricos de la cuenca. La severa sequía que afecta a la zona desde 2010 ha agudizado una tendencia al descenso en precipitaciones y caudales que ya se observada desde 1980.

El subsistema subterráneo muestra un claro desequilibrio (Tabla 1, Figura 7), con recargas que se han ido reduciendo en el tiempo, proceso relacionado con la tendencia a la baja en las precipitaciones, pero intensificado por la impermeabilización asociada al crecimiento de la ciudad y por otro lado el aumento de los sondajes activos y su consecuente mayor bombeo de agua subterránea (Figuras 5 y 6). Lo anterior está ocasionando el vaciamiento del acuífero regional a una tasa de más de 9 m3/s promedio desde 1990 a 2021, condición que la nueva herramienta numérica simula correctamente

El subsistema superficial de cordillera muestra caudales con tendencia a la baja en los ríos de cabecera (Figura 8) desde la década de 1980, agudizadas por la sequía que afecta a la zona en la última década. El mayor aporte glaciar que ha recibido el río Maipo en los últimos años ha contrarrestado en parte esta tendencia, sin embargo, las proyecciones muestran que estos aportes disminuirán rápida e importantemente en las próximas décadas (Figura 9), lo cual es muy relevante para las simulaciones futuras y por tanto es positivo que la actualización del modelo superficial las considere adecuadamente

En la zona del valle, se observan en el río Mapocho en Rinconada (Figura 10) menores afectaciones relativas en las últimas décadas que los ríos de cabecera (Figura 8, Ref.6) lo cual estaría relacionado a la creciente descarga de aguas servidas tratadas de la ciudad de Santiago además de los aportes que pudieran ser desviados por la impermeabilización descrita previamente. Esta compleja dinámica también fue incorporada a la nueva herramienta, resultados que en estos momentos están siendo revisados.

A la fecha, el estudio está desarrollando sus escenarios futuros, por lo que no se incluyen conclusiones al respecto en el presente documento, sin embargo, los resultados obtenidos para el periodo histórico son satisfactorios y permiten confiar en la nueva herramienta.

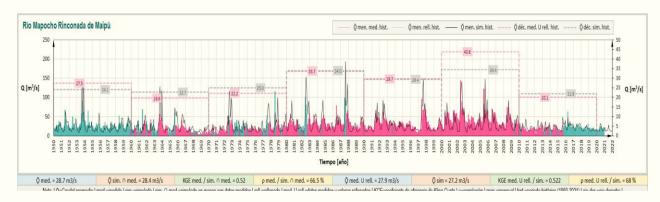


Figura 10: Caudales observados/rellenados y simulados en estación Mapocho Rinconada

Referencias:

- Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca de Maipo, DGA SIT n°471 (2021).
- Actualización del Modelo Regional cuenca Maipo-Mapocho, GCF-AQUATERRA (2023).

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN PROCESOS HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CACHAPOAL

Marcia Paredes A.1, Ximena Vargas M.2 y Pablo Mendoza Z.3

RESUMEN

Se analizan impactos que el cambio climático provecta en la hidrología de la cuenca andina definida por la estación río Cachapoal 5km aguas abajo junta con Cortaderal. Se consideran dos escenarios climáticos: SSP2-4.5 (radiación moderada) y SSP5-8.5 (radiación alta) del Sexto Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6). Para evaluar los impactos en la hidrología de la cuenca, se implementa la plataforma de modelación hidrológica SUMMA considerando datos de equivalente en agua de nieve y caudal medio diario en la cuenca disponibles en el período 1985 a 2014, usando como mapa de cobertura de suelo la observada para el año 2014. Las provecciones de temperatura media anual en la cuenca muestran aumentos de hasta 5°C hacia finales de siglo, y una disminución de la precipitación anual en un 38% para la forzante radiativa alta, proyectándose una disminución de la escorrentía anual de hasta el 45% debido principalmente a la reducción del almacenamiento nival en la cuenca. Este cambio en la climatología adelanta no solo el centro de gravedad de los hidrogramas anuales de escorrentía entre 18 y 35 días para cada escenario estudiado debido a una menor duración del manto nival, sino que también implica una disminución coeficiente escorrentía v un aumento evapotranspiración/precipitación anual. Los resultados indican que cuencas andinas de régimen nival en Chile Central podrían experimentar escenarios hídricos críticos en el futuro mediano (2045–2074) y lejano (2075–2099).

¹ Ingeniera Civil y M.Sc. Universidad de Chile. Chile. Advanced Mining Technology Center, Chile

² Ingeniera Civil Universidad de Chile. Profesora Asociada, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Chile.

³ Ingeniero Civil y M.Sc. Universidad de Chile, Ph.D. University of Colorado Boulder. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Chile. Advanced Mining Technology Center, Chile

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Sexto Reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC; Calvin et al., 2023) la situación climática global ha mostrado un aumento sostenido de las temperaturas medias de 0,95 a 1,20°C durante el período 2012 - 2020 en comparación con los valores preindustriales. Los cambios en la intensidad y frecuencia de eventos naturales —como tormentas, tornados, huracanes, inundaciones, seguías, entre muchos otros— ocurridos en el planeta se atribuyen, en general, al cambio climático provocado por el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero provocados por la actividad humana. El creciente interés en los efectos del cambio climático en la hidrología de cuencas ha generado investigaciones experimentales utilizando modelos hidrológicos, con énfasis en la sensibilidad de ciertos procesos ante los cambios proyectados en las forzantes climáticas (Yang et al., 2017; Zhang et al., 2018).

Los pronósticos de disponibilidad hídrica suelen basarse en los escenarios climáticos descritos por el IPCC a través del uso de modelos de circulación general (GCMs), productos grillados con información meteorológica a escala diaria y mensual desarrollados por distintas instituciones científicas. Estos modelos consideran interacciones fisicoquímicas a una escala global para proyectar las condiciones climáticas futuras bajo ciertas suposiciones de forzantes de radiación que describen cada escenario climático, y presentan actualizaciones en cada reporte del IPCC. En la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5), estos escenarios climáticos se definieron como Trayectorias Representativas de Concentración (RCPs) y se asociaban a concentración de gases de efecto invernadero pronosticada hacia el año 2100. En la sexta fase del CMIP (CMIP6), los escenarios climáticos propuestos agregan una componente de actividad humana y económica a los previos RCPs, conociéndose como Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP); los SSPs plantean cinco tipos de avances económicos, siendo el camino 5 - "Desarrollo en base a combustibles fósiles" el más extremo en temperaturas, y el camino 1 – "Sustentabilidad" el recomendado para alcanzar los objetivos globales de cambio climático antes del 2050.

La disponibilidad natural de agua en Chile central depende principalmente de cuencas andinas de régimen nival, que presentan un clima templado mediterráneo caracterizado por un periodo de acumulación de nieve producto de las precipitaciones y temperaturas entre los meses de abril—agosto. Estas condiciones climáticas han permitido, además, la formación de glaciares, que pueden aportar entre 3% a 23% al caudal medio anual (Gascoin et al., 2011) o el 20% de la escorrentía en meses de verano (Bravo et al., 2017). Estudios sobre los efectos del cambio climático en este tipo de cuencas proyectan una disminución del manto nival y un periodo de derretimiento más corto, disminuyendo así los caudales medios anuales debido a mayores pérdidas

El uso de modelos hidrológicos ha permitido la simulación del ciclo del agua utilizando forzantes y tipo de suelo v coberturas de éste como datos de entrada, por lo que el estudio de las respuestas hidrológicas de una cuenca puede ser simplificado a través del cambio de un factor a la vez. Diversos estudios se han enfocado en la modelación hidrológica tratando de separar los efectos de ambos factores (forzantes y características de suelo): sin embargo, estos suelen dedicarse principalmente al estudio de la escorrentía y evapotranspiración, sin profundizar en procesos relacionados con el suelo o con el manto nival. Para explorar una parte del amplio espectro de posibles respuestas, se limita este estudio en una cuenca andina validando previamente que el cambio de uso de suelo no ha sido significativo en el período histórico y que los cambios experimentados y aquellos que se proyecten en el futuro serán dependientes de características geomorfológicas invariantes y de las condiciones climáticas que se establezcan.

Este trabajo tiene por objetivo analizar y cuantificar los cambios anuales y estacionales de los flujos y almacenamientos hidrológicos promedios en el corto, mediano, y largo plazo, en la cuenca definida por la estación fluviométrica Río Cachapoal 5 km aguas abajo de junta con Cortaderal. Para ello, la cuenca se discretiza espacialmente usando el producto grillado

CR2Met v2.5¹ (Boisier, Alvarez-Garretón, Cepeda, Osses, Vásquez, & Rondanelli, 2018) para determinar las forzantes meteorológicas, y se modelan dos experimentos climáticos del proyecto CMIP6 en la estructura de modelación hidrológica SUMMA (Clark et al., 2015a, 2015b, 2021) considerando cinco modelos climáticos generales (GCMs) seleccionados en base al ranking de desempeño histórico propuesto por Gateño (2021).

II. ZONA DE ESTUDIO

La cuenca en estudio definida por la estación fluviométrica "Río Cachapoal 5 Km. Aguas Abajo Junta Cortaderal" (Figura 1) se ubica en la Región de O'Higgins, en la parte alta del Río Cachapoal, Chile central, posee un área total de 964,8 km². La elevación

media de la cuenca es 2.938 [m s.n.m], con un rango desde los 1.109 [m s.n.m] a 5.122 [m s.n.m], y una pendiente media de 29,9 [m/km]. Debido a su topografia, la mayor parte de su área (78,1%) es suelo estéril o bajo en vegetación, con aparición de matorrales y pastizales (14,3%) en elevaciones menores a los 2500 [m s.n.m]. La cuenca también alberga cuerpos glaciares, correspondientes al 4,6% del área total (Zhao et al., 2016); entre los más importantes se encuentran el glaciar Cachapoal (34,3°S, 70,0°O, 12,3 km²) y Cipreses Norte (34,5°S; 70,3°O; 5,4 km²).

La hidrología presenta un régimen nival, con precipitaciones y temperaturas medias anuales de 1.439 [mm/año] y 6°C, respectivamente, las cuales se guían por una climatología templada mediterránea, permitiendo la acumulación de nieve en el periodo abril—agosto, con un derretimiento posterior a partir del mes de septiembre (Figura 2).

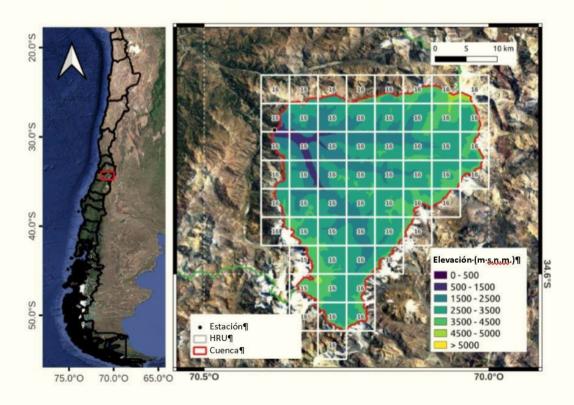


Figura 1.- Ubicación de la cuenca en estudio y discretización espacial del modelo hidrológico. Los números dentro de las HRU corresponden a la cobertura de suelo dominante según la clasificación MODIFIED IGBP MODIS NOAH

¹ https://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/)



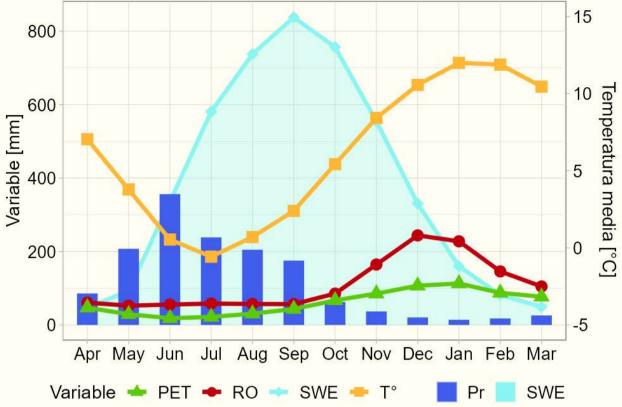


Figura 2: Variación estacional promedio de la evapotranspiración potencial (PET), escorrentía (RO), temperatura (T°), precipitación (Pr), y equivalente en agua de nieve (SWE) observada durante el periodo abril/1990–marzo/2014.

III. METODOLOGÍA

PROYECCIONES CLIMÁTICAS

Las series de precipitación diaria y temperatura media diaria del periodo histórico (1985–2014) se obtuvieron de la versión 2.5 del producto grillado CR2MET (Boisier et al., 2018), el cual posee una resolución horizontal de 0,05° x 0,05° (latitud, longitud). Estos valores se desagregaron a un nivel tri-horario, adoptando como base la distribución temporal del reanálisis ERA5-Land (Muñoz Sabater, 2019). Las series de presión atmosférica, radiación de onda corta, humedad relativa y velocidad del viento fueron obtenidas desde ERA5-Land, corrigiendo la serie de viento con los datos del Explorador Eólico (Falvey et al., 2018). Por último, la radiación de onda larga, para el periodo 1985–2100, fue calculada a través de las parametrizaciones propuestas por Iziomon et al. (2003).

Adoptando como base el período 1985–2014 se generaron las proyecciones climáticas para el periodo 2015–2100 a partir de dos experimentos climáticos del *Coupled Model Intercomparison Project 6* (CMIP6; O'Neill et al., 2016): (1) SSP2–4.5 (forzante de radiación moderada), y (2) SSP5–8.5 (forzante de radiación alta). La elección de modelos de circulación general se generó en base al ranking de desempeño histórico propuesto por Gateño (2021), seleccionando cinco de los primeros diez GCMs propuestos: (1) NESM3, (2) ACCESS-CM2, (3) EC-EARTH3-CC, (4) MPI-ESM1-2-LR, y (5) MRI-ESM2-0.

La corrección de estos GCM se realizó a través de una interpolación bilineal a los centroides de la grilla CR2MET, y una corrección de sesgo para la precipitación, temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima con el método Multivariate quantile mapping Bias Correction (MBCn; Cannon, 2018). Las forzantes tri-horarias futuras fueron

obtenidas a través de análogos meteorológicos dentro de las temporadas del periodo histórico (1985–2014), utilizando las variables del día observado con el menor valor de RMSE con respecto al día "buscado" (proveniente del GCM) según los valores corregidos con el método MBCn a través de la Ecuación 1.

$$RMSE_i = \sqrt{(\overline{pr_{obs_i}} - 1)^2 + \left(\overline{t_{obs_i}} - 1\right)^2 + \left(\overline{tmax_{obs_i}} - 1\right)^2 + \left(\overline{tmun_{obs_i}} - 1\right)^2} \tag{1}$$

Donde $\overline{pr_{obs_i}}$ es el i-ésimo término de la serie de precipitación observada (CR2MET), normalizado según la precipitación del GCM del día buscado, o prGCM, como $\overline{pr_{obs_i}} = (pr_{obs_i} + 1)/(pr_{GCM} + 1)$. En el caso de las temperaturas, la normalización se realizó directamente por el valor buscado $\overline{t_i} = t_{obs_i}/t_{GCM}$.

El análisis de tendencia de temperatura y precipitación futura se realizó en base a sus valores anuales, obteniéndose una regresión lineal simple para cada la serie de tiempo de cada GCM para poder estimar valores y cambios futuros. Se utilizó la prueba de Mann-Kendall y la pendiente de Sen para realizar un análisis de confianza a las tendencias encontradas, eligiéndose un p-valor umbral de 0,05 para la detección de tendencias significativas

MODELACIÓN HIDROLÓGICA

El estudio experimental utilizó el esquema de modelación hidrológica SUMMA (Clark et al., 2015a; Clark et al., 2015b), distribuido en 56 unidades de respuesta hidrológica (URH, Figura 1) y con entradas tri-horarias para obtener los principales flujos y almacenamientos de la cuenca, como la escorrentía (RO), evapotranspiración (ET), infiltración (I), el equivalente en agua de nieve (SWE) y contenido de agua en el suelo (SWC).

Se analizó la tendencia de la escorrentía anual según las proyecciones climáticas obtenidas. El cambio de los flujos hidrológicos se obtuvo en base a variaciones absolutas y porcentuales de los GCM en los escenarios climáticos estudiados para los periodos futuros 2045—2074 y 2075–2099.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PROYECCIONES CLIMÁTICAS

Las proyecciones a nivel de cuenca muestran un aumento sostenido en la temperatura media anual para los dos escenarios climáticos (Figura 3.a y Tabla 1). Los GCM entregan un incremento decadal medio de 0,2 ± 0,15 °C en el escenario moderado SSP2 4.5, proyectando una temperatura de 8,6 ± 0,5 °C hacia finales de siglo, conjuntamente a una disminución de la precipitación estimada de 16.2 ± 7.0 [%] con respecto al medio observado en el período de línea base 1990-2014. El p-valor para la pendiente que describe la tendencia en la temperatura media anual, según la prueba de Mann-Kendall v pendiente de Sen, fueron menores a 10⁻⁵ en todos los modelos; por otro lado, las tendencias de las series de precipitación del escenario SSP2 4.5 no son significativas, con excepción del valor medio anual obtenido de los cinco modelos.

El escenario SSP5 8.5 podría generar aumentos de la temperatura de 0.6 ± 0.1 °C por década, con una diferencia estimada de 5.2 ± 0.8 °C con respecto al periodo 1990–2014. Este calentamiento de la cuenca se produce de manera homogénea a nivel estacional, proyectando una temperatura media mínima en el periodo 2075–2099 de 2.6 °C en el mes de julio, que históricamente es el mes de mayor precipitación sólida en la zona alta de la cuenca. Las proyecciones de precipitación muestran un déficit del 38.0 ± 15.0 % con respecto al promedio histórico, equivalente a una magnitud de 892 ± 216 [mm/año].

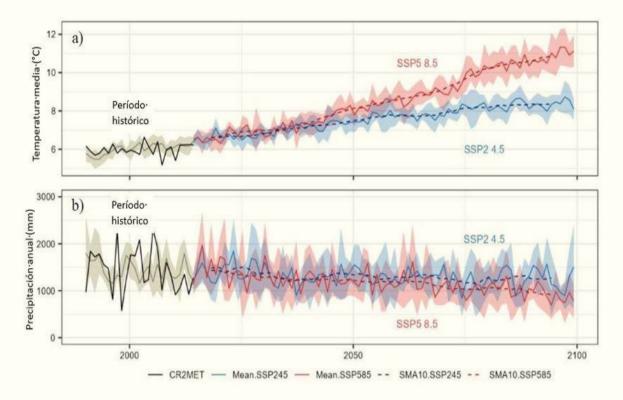


Figura 3.- Proyecciones climáticas de la temperatura media anual (a) y precipitación anual (b) para los escenarios estudiados. Se presenta el promedio de los valores anuales de los GCM (línea sólida) y su desviación estándar (área coloreada). La línea discontinua representa el promedio móvil de 10 años para los diferentes escenarios.

La Figura 4.a muestra la estacionalidad de la precipitación en el período histórico, observándose un comportamiento similar a la precipitación de CR2MET (Figura 2). Al comparar estos valores mensuales históricos con los proyectados, se observa que la estacionalidad de la precipitación difiere entre los modelos para ambos escenarios climáticos (Figura 4.b

y 4.c), especialmente el modelo ACCESS-CM2, para el cual el mes con mayores precipitaciones es julio (agosto) bajo el escenario SSP2 4.5 (SSP5 8.5). Los cambios proyectados en precipitación mensual son más pronunciados en el escenario de forzantes de radiación alta, en especial durante los meses de almacenamiento nival.

Tabla 1: Cambios decadales promedios para la temperatura ($\Delta T10$) y precipitación ($\Delta Pr10$) por GCM y tendencias del promedio del escenario climático. T2100 es la temperatura media anual y $\Delta Pr2100$ es el cambio porcentual de la precipitación estimados en el año 2100 con respecto al promedio en el período histórico. El símbolo (*) indica un p-valor < 0,05 según la prueba de Mann-Kendall y pendiente de Sen

GCM	SSP2-4.5				SSP5-8.5			
	ΔT ₁₀ [°C/década]	T ₂₁₀₀ [°C]	$\Delta Pr_{10} \ [mm/década]$	ΔPr ₂₁₀₀ [%]	ΔT ₁₀ [°C/década]	T ₂₁₀₀ [°C]	ΔPr ₁₀ [mm/década]	ΔPr ₂₁₀₀ [%]
ACCESS- CM2	0,27 (*)	9,0 (*)	-44,0 (*)	-6,7 (*)	0,63 (*)	11,5 (*)	-34,8	-13,0
EC-Earth3- CC	0,31 (*)	9,0 (*)	-33,8	-13,3	0,73 (*)	11,9 (*)	-88,1 (*)	-40,3 (*)
MPI-ESM1- 2-LR	0,17 (*)	7,9 (*)	-7,2	-15,2	0,47 (*)	10,0 (*)	-99,9 (*)	-47,5 (*)
MRI-ESM2-0	0,25 (*)	8,6 (*)	-17,5	-22,0	0,53 (*)	10,7 (*)	-61,8 (*)	-37,9 (*)
NESM3	0,23 (*)	8,7 (*)	-6,4	-23,9	0,60 (*)	11,5 (*)	-45,4 (*)	-51,4 (*)
Promedio	0,25 ± 0,05 (*)	8,6 ± 0,5 (*)	-21,8 ± 16,6 (*)	-16,2 ± 7,0 (*)	0,59 ± 0,10 (*)	11,1 ± 0,8 (*)	-66,0 ± 27,7 (*)	-38,0 ± 15,0 (*)

PROYECCIONES HIDROLÓGICAS

La escorrentía anual proyectada por los modelos GCMs (Figura 5) presenta tendencias similares a las precipitaciones (Figura 3.b). En comparación a sus valores anuales promedios del periodo 1990–2014, la serie futura proyecta una disminución de 18,9% ± 7,4% (SSP2-4.5) y 45,2% ± 14,7 (SSP5-8.5) en el año 2100 en comparación a los resultados en el periodo histórico. Estos porcentajes son de mayor magnitud debido al aumento simultáneo de la temperatura, la cual produce un cambio en la fracción de precipitación sólida, disminuyendo de 0,62 [-] a 0,49 [-] (SSP2-4.5) y 0,38 [-] (SSP5-8.5) a finales de siglo debido al cambio estacional de la precipitación en cada GCM (Figura 4).

El coeficiente de escorrentía anual de la cuenca disminuye a través de las décadas, siendo 0,88 [-] el valor de referencia según el producto CR2MET para el periodo histórico (Figura 6). Los modelos NESM3 y MPI.ESM1.2.LR muestran valores mayores debido a

un superávit en las precipitaciones de mayo en el periodo 1990–2014. El comportamiento de la partición depende fuertemente del escenario climático estudiado: los valores correspondientes al SSP2-4.5 alcanzan un valor *ET/Pr* igual a 0,16 (NESM3) con máximos de 0,25 (NESM3) en dicho escenario debido al aumento de la evaporación desde el suelo y pérdidas por sublimación, presentando ambos flujos una mayor sensibilidad a los cambios de temperatura en comparación al resto de las variables hidrológicas analizadas.

De manera similar, flujos como la escorrentía e infiltración presentan una mayor sensibilidad ante variaciones de precipitación en la cuenca. La Figura 7.a muestra que estas variables decaen simultáneamente en los meses de octubre—marzo, mientras que los cambios en la evapotranspiración se mantienen relativamente constantes. El comportamiento de estas variables coincide durante el periodo de derretimiento, donde los

eventos de lluvia aportan directamente al caudal y flujo base. En los meses de transición entre temporadas (septiembre y octubre) comienza el mayor aporte nival, lo cual explica que la escorrentía e infiltración aumenten. El escenario SSP5-8.5 muestra mayores variaciones en los meses de otoño-invierno, donde la precipitación decae con respecto al periodo histórico y las temperaturas aumentan, por lo que el manto nival presenta una mayor sublimación y los derretimientos de este evaporan directamente desde el suelo.

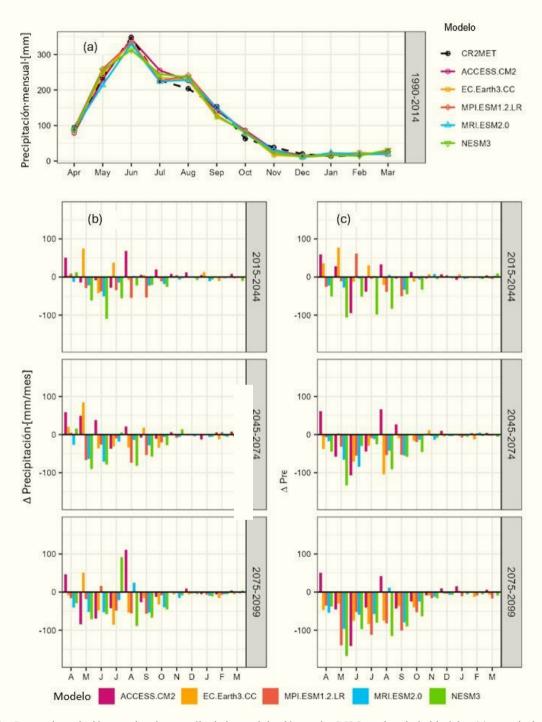


Figura 4.- Curvas de variación estacional promedio de la precipitación según GCM en el periodo histórico (a), y variaciones en la precipitación mensual futura por modelo según el escenario SSP2-4.5 (b) y SSP5-8.5 (c).

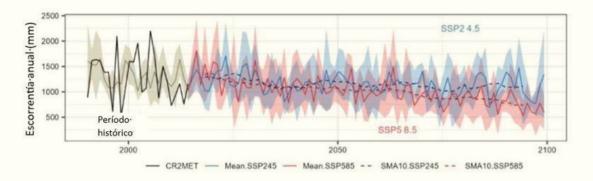


Figura 5.- Escorrentía simulada a nivel de cuenca en base al producto CR2MET y GCMs seleccionados.

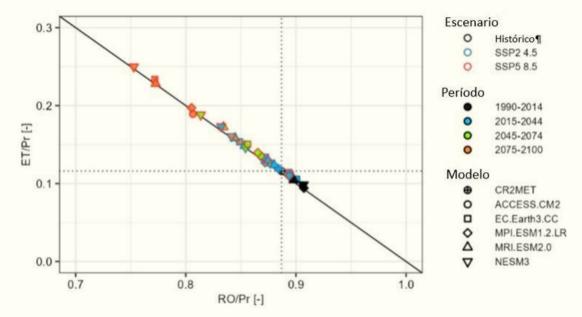


Figura 6.- Partición promedio por período climático de la precipitación anual (Pr) en evapotranspiración (ET) y escorrentía (RO). Las líneas punteadas representan el coeficiente de escorrentía obtenido en el periodo 1990–2014 con el producto CR2MET.

La estacionalidad mostrada en la Figura 7 se complementa con las variaciones en el centroide de los hidrogramas para cada año hidrológico modelado (Figura 8). En el periodo histórico, los modelos muestran un promedio de 218 días (mediados de noviembre) desde el comienzo del año hidrológico (1 de abril), adelantando entre 18 días (SSP2-4.5) y 35 días (SSP5-8.5) la ocurrencia del centro de gravedad.

Los cambios anuales y estacionales modelados son afectados directamente por los almacenamientos superficiales (SWE) y de suelo (SWC) de la cuenca. La Tabla 2 entrega los valores medios por período para estas variables. El manto nival se ve drásticamente

disminuido en el futuro lejano, con disminuciones que fluctúan entre 42% y 69% respecto al periodo histórico y un derretimiento adelantado de hasta 33 días en el escenario SSP5-8.5. El almacenamiento de agua en el suelo, SWC, se ve afectado por la nieve debido a la infiltración directa desde el manto y su derretimiento, formando parte del flujo base. Este último también presenta una tendencia negativa a través de las décadas según el escenario climático, con menores variaciones respecto a otros almacenamientos de la cuenca debido a una mayor tasa de infiltración en las lluvias invernales que compensan el déficit de los meses de primaveraverano por menor escorrentía superficial.

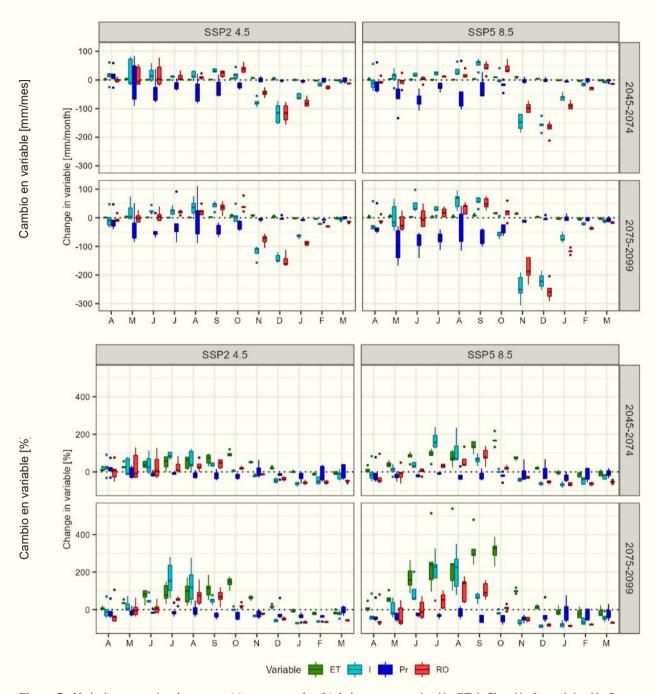


Figura 7.- Variaciones estacionales en mm (a) y porcentuales (b) de la evapotranspiración ET, infiltración I, precipitación Pr y escorrentía RO para el futuro mediano (2045–2074) y lejano (2075–2099). Los gráficos de caja representan las diferencias estacionales promedio de los GCM estudiados por variable.

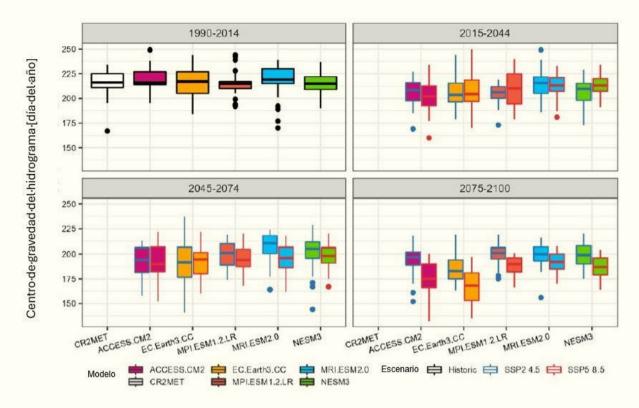


Figura 8: Centro de gravedad de los hidrogramas anuales para cada GCM y escenario climático. Cada gráfico de caja representa el conjunto de centroides para los años dentro del periodo estudiado de cada GCM.

Tabla 2: Almacenamientos promedios para los diferentes periodos y escenarios climáticos estudiados según la modelación hidrológica. Los valores entre paréntesis indican la variación porcentual respecto al periodo histórico.

D : 1	SSP	2-4.5	SSP5-8.5		
Periodo	SWE [mm]	SWC [mm]	SWE [mm]	SWC [mm]	
1990–2014	363 ± 68	202 ± 5	363 ± 68	202 ± 5	
2015–2044	294 ± 67 (-19%)	198 ± 5 (-2%)	305 ± 95 (-16%)	195 ± 5 (-3%)	
2045–2074	236 ± 49 (-35%)	193 ± 3 (-4%)	189 ± 54 (-48%)	188 ± 4 (-7%)	
2075–2100	210 ± 59 (-42%)	189 ± 4 (-6%)	112 ± 31 (-69%)	178 ± 5 (-12%)	

V. CONCLUSIONES

Las proyecciones climáticas del CMIP6 muestran aumentos de hasta 5°C en la temperatura media anual y disminuciones de 16% y 38% para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente. Estas tendencias son estadísticamente significativas en base a los cinco GCM elegidos para el estudio, por lo que la hidrología de la cuenca se encontraría en un estado crítico a finales de siglo debido a una menor tasa de acumulación nival y un derretimiento más rápido, disminuyendo en gran medida las escorrentías de finales de primavera y verano (un 89% en el escenario SSP5-8.5 para el periodo 2075–2099).

La disminución de la escorrentía anual es mayor a la proyectada para la precipitación por cada modelo, ratificando el comportamiento no lineal del sistema debido a los cambios en las particiones de la precipitación (disminuyendo la fracción sólida) y SWE en la cuenca, los cuales decaen rápidamente desde mitades del siglo XXI según las proyecciones.

Las variaciones anuales y estacionales de los flujos presentan una alta dependencia de los cambios de la precipitación, siendo la escorrentía y la infiltración los flujos más sensibles en cambios en la precipitación mensual. Por otro lado, la evapotranspiración de invierno muestra aumentos mayores al 100% debido a pérdidas por sublimación de la nieve y evaporación directa desde el suelo, relacionándose con las temperaturas mayores a 0°C en los meses de acumulación.

Los escenarios climáticos existentes ofrecen un amplio conjunto de condiciones para las cuencas. Por otro lado, los escenarios analizados en este estudio coinciden en la disminución de la oferta hídrica para cuencas nivales debido al efecto evidente en su capacidad de acumulación nival, por lo que se deberán aplicar medidas de mitigación a la brevedad para disminuir el impacto en la población y medio ambiente en cuencas con un régimen hidroclimático similar de Chile Central.

REFERENCIAS

Boisier, J. P., Alvarez-Garretón, C., Cepeda, J., Osses, A., Vásquez, N., & Rondanelli, R. (2018). "CR2MET: A high-resolution precipitation and temperature dataset for hydroclimatic research in Chile". *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 19739.

Bravo, C., Loriaux, T., Rivera, A., & Brock, B. W. (2017). "Assessing glacier melt contribution to streamflow at Universidad Glacier, central Andes of Chile". *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(7), 3249–3266. https://doi.org/10.5194/hess-21-3249-2017

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., et al. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

Cannon, A. J. (2018). "Multivariate quantile mapping bias correction: an N-dimensional probability density function transform for climate model simulations of multiple variables". *Climate Dynamics*, 50(1–2), 31–49. https://doi.org/10.1007/s00382-017-3580-6

Clark, M. P., Nijssen, B., Lundquist, J. D., Kavetski, D., Rupp, D. E., Woods, R. A., Freer, J. E., Gutmann, E. D., Wood, A. W., Brekke, L. D., Arnold, J. R., Gochis, D. J., & Rasmussen, R. M. (2015a). "A unified approach for process-based hydrologic modeling: 1. Modeling concept". *Water Resources Research*, *51*(4), 2498–2514. https://doi.org/10.1002/2015WR017198

Clark, M. P., Nijssen, B., Lundquist, J. D., Kavetski, D., Rupp, D. E., Woods, R. A., Freer, J. E., Gutmann, E. D., Wood, A. W., Gochis, D. J., Rasmussen, R. M., Tarboton, D. G., Mahat, V., Flerchinger, G. N., & Marks, D. G. (2015b). "A unified approach for process-based hydrologic modeling: 2. Model implementation and case studies". *Water Resources Research*, *51*(4), 2515–2542. https://doi.org/10.1002/2015WR017200

Falvey, M., Ibarra, M., Pérez, R., & Hernández, V. (2018). *Explorador Eólico 2018*.

Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H., & Veloso-Aguila, D. (2020). "The Central Chile Mega Drought (2010–

2018): A climate dynamics perspective". *International Journal of Climatology*, 40(1), 421–439. https://doi.org/10.1002/joc.6219

Gascoin, S., Kinnard, C., Ponce, R., Lhermitte, S., MacDonell, S., & Rabatel, A. (2011). "Glacier contribution to streamflow in two headwaters of the Huasco River, Dry Andes of Chile". *The Cryosphere*, 5(4), 1099–1113. https://doi.org/10.5194/tc-5-1099-2011

Gateño, F. (2021). ¿Cómo seleccionar modelos de circulación general para estudios regionales? Propuesta metodológica basada en el desempeño histórico. Tesis de Magíster. Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/187203.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Vicuña, S., Garreaud, R. D., & McPhee, J. (2011). "Climate change impacts on the hydrology of a snowmelt driven basin in semiarid Chile". *Climatic Change*, 105(3–4), 469–488. https://doi.org/10.1007/s10584-010-9888-4 World Meteorological Organization (2022). *State of the climate in Latin America and the Caribbean 2021. WMO-No.* 1272. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22104#.Yt6ZL-xBygQ

Yang, L., Feng, Q., Yin, Z., Deo, R. C., Wen, X., Si, J., & Li, C. (2017). "Separation of the Climatic and Land Cover Impacts on the Flow Regime Changes in Two Watersheds of Northeastern Tibetan Plateau". *Advances in Meteorology*, 2017. https://doi.org/10.1155/2017/6310401

Zhang, L., Nan, Z., Yu, W., Zhao, Y., & Xu, Y. (2018). "Comparison of baseline period choices for separating climate and land use/land cover change impacts on watershed hydrology using distributed hydrological models". *Science of the Total Environment*, 622–623, 1016–1028.

https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.055

Iziomon, M. G., Mayer, H., & Matzarakis, A. (2003). "Downward atmospheric longwave irradiance under and cloudy skies: Measurement parameterization". Journal of Atmospheric and Solar-**Terrestrial** Physics, 65(10),1107-1116. https://doi.org/10.1016/j.jastp.2003.07.007 Muñoz Sabater, J. (2019). ERA5-Land hourly data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S)Climate Data Store (CDS). https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J. F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). "The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6". Geoscientific Model Development, 9(9), 3461–3482. https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016 Paredes M, Vargas X. v P. Mendoza ((2022) Impactos del cambio climático en los procesos hidrológicos en la alta montaña del río Cachapoal. XXX Congreso

Zhao, Y., Feng, D., Yu, L., Wang, X., Chen, Y., Bai, Y., Hernández, H. J., Galleguillos, M., Estades, C., Biging, G. S., Radke, J. D., & Gong, P. (2016). "Detailed dynamic land cover mapping of Chile: Accuracy improvement by integrating multi-temporal data". *Remote Sensing of Environment*, 183, 170–185. https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.05.016

Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, Brasil.

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CÍA. DE PETRÓLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CyD INGENIERÍA LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

GUZMÁN Y LARRAÍN VIVIENDAS ECONÓMICAS SPA

EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.

EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.

EMPRESAS CMPC S.A.

ENAEX S.A.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

ARCADIS CHILE S.A.

IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

SYNEX CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.



Nuestros teléfonos:

(+56) 22696 8647 \cdot (+56) 93736 0656