

INSTITUTO NACIONAL DE HIDRÁULICA

---

# REPORTE TÉCNICO

## 2020-2021



INSTITUTO NACIONAL DE HIDRÁULICA

---

# REPORTE TÉCNICO

## 2020-2021

Ubicación: Puente Río Cruces, Río Cruces,  
Valdivia, Región de Los Ríos

Coordenadas: Latitud: 39,825483° Sur

Longitud: 73,265385° Oeste



## ÍNDICE

**Palabras del director ejecutivo INH 04**

**Información institucional 2020-2021 06**

**Hitos 2020-2021 13**

**Sello técnico INH 16**

**Estudios 2020-2021 23**



**PALABRAS DEL  
DIRECTOR EJECUTIVO**  
**INH**



## Palabras del director ejecutivo

Los acontecimientos sociales recientes han exigido nuestra capacidad de adaptación al máximo, en el ámbito personal e institucional. Avanzar en los programas interministeriales de adaptación y mitigación de los servicios de infraestructura al cambio climático que compromete a todas las direcciones del MOP, en el marco de la pandemia del SARS-CoV-2 y las movilizaciones sociales en el país, ha exigido el compromiso profundo de quienes conforman nuestro equipo para continuar trabajando en estudios ligados a infraestructura hidráulica pública, que tienen un gran impacto en las comunidades y entorno donde se desarrollan.

Las características propias de nuestro territorio, y el avance científico en la comprensión de los fenómenos hidráulicos y los escenarios hídricos marcados por la presencia de eventos extremos, han impulsado el cuestionamiento de los criterios tradicionales de diseño, la tipología de las obras de infraestructura y su impacto en el ambiente, ya sea en el área de ingeniería de costas como fluvial.

El INH aborda con pasión este desafío mediante una vinculación activa con el mundo académico y la participación en redes de laboratorios nacionales e internacionales, potenciando el capital humano del Servicio en el uso experto de herramientas de modelación física y modelación matemática. Esta sinergia ha conducido al INH a la aplicación de nuevas técnicas de medición en modelos físicos basadas en el empleo de nuevas tecnologías, con el fin de obtener una mejor descripción temporal y espacial de los ensayos experimentales, aumentando así la capacidad en la toma de decisiones. Asimismo, la modelación matemática ha incorporado las técnicas en continua evolución de la inteligencia artificial incrementando la capacidad predictiva de los fenómenos hidráulicos y optimizando los tiempos de cómputo de manera radical.



Rodrigo Herrera Hernández, director ejecutivo (s).



**INFORMACIÓN  
INSTITUCIONAL**  
**2020-2021**

## Quiénes somos

El Instituto Nacional de Hidráulica (INH) es una corporación autónoma con personalidad jurídica de derecho público, con patrimonio propio y con plena capacidad para adquirir y ejercer derechos y contraer obligaciones. Se relaciona con el Gobierno a través del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y tiene entre sus roles dar apoyo técnico a todas las direcciones de dicha repartición que tienen vínculos con el agua y la infraestructura. Está dirigido por un consejo y una dirección ejecutiva que depende de este.

Ubicado en Peñaflor, el servicio desempeña sus funciones en el laboratorio de hidráulica, con instalaciones experimentales y de investigación, que permiten abordar problemáticas complejas asociadas al agua. Su equipo técnico, compuesto por investigadores, ingenieros, geomensores, técnicos y maestros especializados, desarrolla estudios hidráulicos avanzados para organismos públicos y privados, generando tres tipos de productos relativos al agua, infraestructura hidráulica y eventos extremos (cambio climático): estudios, iniciativas de investigación y generación de conocimiento.

## Nuestra historia

Ante la necesidad de proyectar los puertos del país, en 1953 el MOP impulsó la construcción de un laboratorio, que estaría encargado de realizar estudios e investigaciones de estructuras marítimas en modelo a escala reducida. En 1964 amplió sus actividades con estudios de obras hidráulicas de regadío, sanitarias y otras, para entidades estatales y privadas. En 1967, se creó formalmente el Instituto Nacional de Hidráulica de Chile como tal, con el fin de desarrollar investigación y estudios en materias hídricas y de mecánica de fluidos. Entre 1980 y 2017, se fue incorporando infraestructura y equipamiento propios de laboratorios de hidráulica a nivel mundial, tales como: canal de calibración de molinetes, canal bidimensional de olas, banco de prueba de bombas y canal de socavación de pilas, entre otros, lo que nos ha permitido ofrecer una amplia gama de servicios.

Adicionalmente, el organismo ha actualizado y mejorado sus instalaciones, instrumentos de medición, equipamiento computacional y software especializado. Con el objetivo de definir el rumbo del servicio para los próximos años, en 2017 se elaboró el Plan de Desarrollo Estratégico en el que participaron los integrantes del INH, clientes y otros actores interesados, el que constituye actualmente nuestra carta de navegación.

### Misión del INH

Nuestra misión es desarrollar estudios e investigación aplicada de proyectos de Infraestructura Hidráulica, con un enfoque integral y criterios sustentables, contribuyendo con ello a dar respuestas a los desafíos del país.

### Áreas técnicas

- Hidráulica marítima costera y de puertos
- Hidráulica de ríos
- Infraestructura hidráulica
- Hidráulica aluvional

## Consejo INH

El Consejo del INH tiene entre sus funciones, en conjunto con la Dirección Ejecutiva, definir los lineamientos del actuar del Instituto, velar por la marcha correcta de sus servicios, aprobar los planes de trabajo y las inversiones correspondientes propuestas por la Dirección. Este órgano está conformado por los siguientes consejeros:

- a. Director (a) General de Obras Públicas y Presidente del Consejo.
- b. Director (a) de Obras Hidráulicas.
- c. Superintendente de Servicios Sanitarios.
- d. Director (a) de Obras Portuarias.
- e. Representante de la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo).
- f. Representante del Presidente de la República, vinculado con la docencia universitaria.

## Director Ejecutivo INH

Ingeniero civil mención Hidráulica, Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Chile (2010), Rodrigo Herrera Hernández además tiene un Diploma de Postítulo en Energías Renovables no Convencionales en la misma casa de estudios e ingresó al INH en 2011, desempeñándose como ingeniero de proyectos y jefe de proyectos. Asumió en 2016 el desafío de liderar como jefe de la Unidad de Modelación Física del INH, donde trabajó colectivamente con el equipo para generar nuevos estándares de precisión, mediante la inclusión de nuevas metodologías y tecnologías aplicadas a la construcción de modelos físicos y a la medición experimental. En mayo de 2022 asumió como Director Ejecutivo (S) del Instituto Nacional de Hidráulica.

Atraído por las diversas áreas que abarca el estudio del agua, se ha dedicado principalmente al oficio de la hidráulica aplicada al diseño y verificación de las obras de infraestructura, destinadas a controlar los impactos de desastres naturales ocurridos en Chile,



Rodrigo Herrera Hernández, director ejecutivo (s).

tales como aluviones, inundaciones fluviales y marejadas. Ha participado en diversas capacitaciones, mesas de trabajo y comités técnicos, buscando el alineamiento de todas las visiones sobre la prospectiva del recurso hídrico en Chile.



## Capital humano

Ofrecemos un servicio integral, gracias a nuestras áreas técnicas y administrativas, sumadas a la experiencia senior de nuestros socios estratégicos. Nuestro capital humano destaca por su alto nivel de compromiso, proactividad y especialmente por su buena formación y calidad técnica, lo que ha permitido generar equipos de trabajo colaborativos y cohesionados, un buen ambiente laboral, logrando estudios y productos de excelencia.

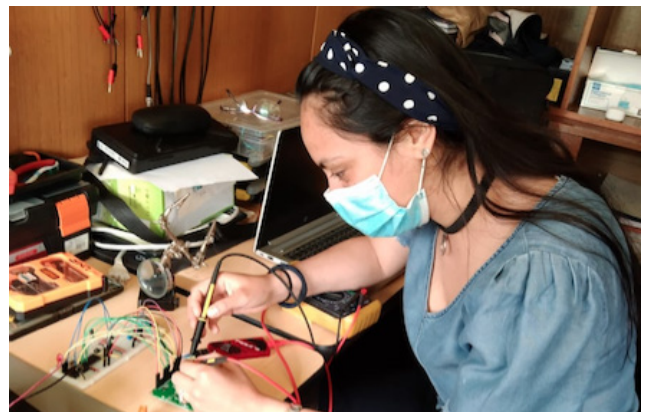
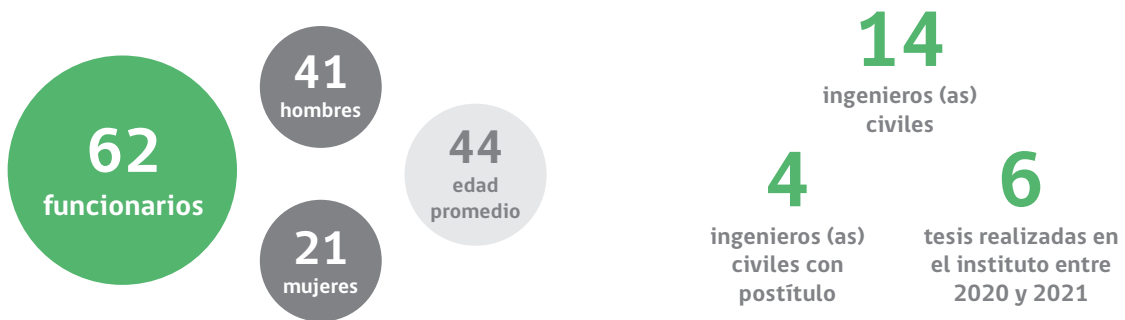


Imagen superior izquierda: Funcionarios en la oficina de Peñaflor, trabajando presencialmente en el periodo de pandemia.

Imagen inferior izquierda: Equipo en terreno en Villa Santa Lucía, comuna de Chaitén, Región de Los Lagos.

Imagen derecha: Ingeniera Carolina Peña, trabajando en sensores para modelación física.



Primera fila, de izquierda a derecha:

- 1.1 Funcionarios trabajando en el modelo físico del Puerto de San Antonio.
- 1.2 Funcionario Andrés Tapia y Camila Osorio trabajando para el proyecto del Plan Hídrico.
- 1.3 Funcionarios en terreno para proyecto de Puentes.

Segunda fila, de izquierda a derecha:

- 2.1 Funcionarios realizando aforos en planta de tratamiento.
- 2.2 Funcionario Aldo Navarro trabajando en la implementación del modelo físico de Playa Brava.
- 2.3 Funcionario Héctor Aliaga realizando el levantamiento topográfico del modelo físico del río Petorca, para la implementación de la bocatoma del Embalse Las Palmas.

Tercera fila, de izquierda a derecha:

- 3.1 Funcionarios Aldo Navarro y Ronald Chamorro para la implementación del modelo físico de Plaza Brava.
- 3.2 Funcionario Alfonso Contreras en terreno para proyecto de Puentes.
- 3.3 Funcionarios en curso "Outdoor Training".



Entrevista: Luis Zamorano Riquelme

## “El futuro de la hidráulica está muy ligado a desarrollar herramientas de inteligencia artificial”



**Luis Zamorano Riquelme es ingeniero civil mención Hidráulica de la Universidad Católica, con 18 años de experiencia en áreas de ingeniería hidráulica, marítima y sanitaria. Ha participado como autor y expositor en seminarios de hidráulica organizados por la Sochid, presentando temas relacionados con la hidrodinámica. Actualmente es jefe de la Unidad de I+D+i del instituto y estudiante del Programa de Doctorado de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile.**

### ¿Cómo describirías tus años trabajando en el Instituto?

Una evolución de distintas tareas, muy gratas todas. Me tocó ser jefe de varios proyectos, pero yo diría que un sello mío particular es que me gusta meterme en la ecuación, me gusta modelar, entonces siempre estuve en el computador, metiendo mano, en lo que diría un ingeniero, en la planilla Excel, nunca abandoné eso y no es mi intención abandonarlo. El éxito está en que haces lo que te gusta.

### ¿Cuáles han sido tus principales temas de estudio?

En el instituto hubo dos amores, un amor por el área de ver el agua escurriendo y después el área numérica. Hace cuatro años pude darle más fuerza al área numérica y creo que en ese sentido también el instituto ganó, porque pudimos comprar un clúster de cómputo, cosa que era inédita y eso equipara, cuando uno ve que otros laboratorios están en la misma parada, o sea que los dos caminos los tienen igualmente desarrollados.

### ¿Qué aporte puede tener inteligencia artificial en la ingeniería hidráulica?

El futuro de la hidráulica está muy ligado a desarrollar herramientas de inteligencia artificial. Pensando a futuro y soñando un poco, cálculos que ahora demoran diez horas, puede que con algoritmos de inteligencia artificial y computadores más rápidos, se resuelvan en minutos y eso permite en una era de la información, con muchos datos, que ya no haga tres simulaciones, sino que hagamos miles. Existe un montón de aplicaciones y cosas que se pueden hacer.

### ¿Qué relevancia crees que tienen los estudios del INH para el país?

Es una ventaja importante la posibilidad de poder elegir y orientarlos a objetivos que sean de Estado, ordenados por las autoridades. El cambio climático va a traer muchos flujos aluvionales y hay que prepararse y quién más que una institución como el INH puede llevar la brecha técnica más allá de lo que de hecho el conocimiento que hay actual.

Hemos estado viendo ahora hace poco la Playa La Serena, donde estaba viendo unos estudios a nivel mundial y en escala a nivel mundial, que se hizo en 2018, para la revista Nature y evidentemente ahí sale el tema de la erosión costera en las playas. Es importante que continúen esos estudios, porque van a ser la base después de los diseños costeros y de las futuras playas.

### ¿Qué rescatas de trabajar acá versus el mundo privado?

Si tienes vocación de servicio, si tie-

nes la vocación de aprender y de ir más allá, si quieres estar cerca de la academia, yo creo que el instituto te da un abanico que no lo encuentras en ninguna parte del área privada, un estatus de desarrollo personal y del área técnica, que es único.

### ¿Qué ha sido lo más desafiante de trabajar en el Instituto?

Los desafíos técnicos están y son gratificantes, pero a veces lo que más frustra, lo que más cuesta son los temas administrativos, los temas de normativa que hacen a veces que lo que parece fácil, se haga cuesta arriba y hay que tener altura de miras.

### ¿Cómo ves al Instituto en los próximos años?

Hay un potencial de que esta institución se transforme en una institución muy importante, considerando los desafíos, en particular el desafío del cambio climático. La veo como una institución que va a tener que crecer y expandirse para poder satisfacer esas necesidades, esas cuestiones.

### ¿Qué rol crees que tiene el INH en los desafíos hídricos de nuestro país?

Va a haber la necesidad de que alguien lidere desde el punto de vista técnico, defina normas y yo creo que el instituto está llamado para liderar todo eso. Eso obviamente se tiene que dar en un marco legal, en un marco que apañe al instituto, que le dé el soporte administrativo y la responsabilidad de asumir ese rol.

## Principales instalaciones



Vista exterior Galpón Juan Carlos Huerta.



Vista interior Galpón Juan Carlos Huerta.

- Instalaciones del laboratorio de hidráulica de Peñaflor: 64.000m<sup>2</sup> , a 37 kilómetros de Santiago. Latitud: 33,601° Sur. Longitud: 70,896° Oeste.
- Galpón Juan Carlos Huerta: 5.000 m<sup>2</sup> y galpón 2: 2.045 m<sup>2</sup>.
- Banco de bomba de pruebas: 1.050 m<sup>2</sup>.
- Taller en construcción para maestranza, albañilería, carpintería y electrónica: 520 m<sup>2</sup>.
- Oficinas en Peñaflor: 850 m<sup>2</sup>.
- Oficinas en Santiago: 200 m<sup>2</sup>.



### Canal de calibración

- Largo útil: 70 m
- Ancho: 1,5 m
- Profundidad: 1,5 m



### Canal bidimensional de olas

- Largo útil: 45 m
- Ancho: 1,5 m
- Altura: 1,8 m
- Cuenta con paleta 2d VTI con absorción dinámica



### Canal experimental de socavación en pilas

- Largo útil: 15 m
- Ancho: 1,5 m
- Pendiente variable entre 0 y 7%
- Caudal máximo 600 l/s





# HITOS

2020-2021

## Hitos 2020

### **Marzo. Adaptación al teletrabajo.**

Debido a la contingencia generada por la pandemia provocada por el Covid-19, el INH estableció una metodología de trabajo para prevenir el contagio del virus, seguir las medidas sanitarias definidas por el Ministerio de Salud y al mismo tiempo avanzar con la labor del instituto. Es así como en unas semanas se digitalizaron distintos procesos y se adoptaron nuevas formas de comunicación y coordinación a través de videollamadas, entre otras iniciativas, lo que permitió continuar con el funcionamiento general del laboratorio.

### **Junio. Se realizó la presentación final del estudio del Puerto a Gran Escala de San Antonio.**

A través de una videollamada, se llevó a cabo la presentación final del estudio del Puerto a Gran Escala de San Antonio, desarrollado en conjunto entre el Instituto Nacional de Hidráulica con HR Wallingford, SENER y PRDW para la Empresa Portuaria San Antonio (EPSA). El objetivo del estudio era utilizar la modelación física para evaluar la estabilidad estructural y sobrepeso de las obras de abrigo del puerto a gran escala, las que consideran la construcción de un rompeolas de casi 4 km, el más grande de nuestro país.

### **Agosto. Investigadores del INH publicaron paper junto a académicos de la Universidad de Chile.**

Los investigadores de la Unidad de I+D+i del Instituto Nacional de Hidráulica, Luis Zamorano y Gustavo Estay, junto a académicos de la Facultad de Física y Ciencias Matemáticas de la Universidad de Chile, Yarko Niño, Kevin Vidal, Aldo Tamburriño, Juan Felipe Beltrán y Aldo Muñoz, elaboraron el documento Normal and tangential drag forces of nylon nets, clean and with fouling, in fish farming. An experimental study, publicado en la revista indexada Water. El documento es fruto del trabajo experimental realizado en el INH para caracterizar las fuerzas hidrodinámicas generadas debido a la interacción del flujo de las corrientes marinas con las redes en los centros de cultivo de peces.

### **Agosto. Ingeniero del INH realizó una charla sobre modelación física en ingeniería costera.**

Rodrigo Herrera, jefe de la Unidad de Modelación Física e ingeniero de proyectos del INH realizó la charla Modelación física en Ingeniería Costera, Casos de estudio ejecutados por el INH en los últimos cinco años, de Rodrigo Herrera. El evento fue organizado por la Asociación Chilena de Ingeniería de Puertos y Costas (Achipyc).

### **Octubre. La Red Nacional de Laboratorios de Hidráulica se reunió para evaluar sus dos años de funcionamiento.**

La Red Nacional de Laboratorios de Hidráulica realizó su

cuarta reunión, a la que asistieron académicos e investigadores de la Universidad de Chile, Universidad de Valparaíso, Universidad Austral de Chile, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Universidad Técnica Federico Santa María, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y el Instituto Nacional de Hidráulica (INH).

En el encuentro se realizó una evaluación del trabajo de la agrupación a dos años de su creación, tiempo en el que se han generado contactos, proyectos, colaboraciones y capacitaciones. También se analizó la situación de los laboratorios en el país, debido a la situación provocada por el virus Covid-19.

### **Octubre. Jefe de I+D+i del INH participó en una charla sobre estuarios.**

Se realizó la charla Estuarios y Desembocaduras: Evaluando Morfología y el Destino Final de las Aguas, donde expusieron Raúl Flores, académico de la Universidad Técnica Federico Santa María (USM), y Luis Zamorano, jefe de la Unidad de I+D+i del INH, quien comentó sobre los estudios realizados en estuarios en los últimos diez años, en los que se han analizado principalmente los estuarios de Constitución, Lebu y Tirúa; mostrando algunos resultados de los mareógrafos y destacando la importancia de los datos otorgados por la medición y la batimetría para elaborar un buen modelo.

### **Diciembre. INH y la FCFM de la U. de Chile firmaron un convenio de cooperación.**

Con el fin de compartir experiencias, investigación conjunta e intercambio científico en el campo de supercomputo aplicado a la ingeniería hidráulica, el INH y la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile, firmaron un acuerdo de cooperación que permitirá realizar modelaciones numéricas de alta complejidad, utilizando el supercomputador Guacolda-Leftraru, que está a cargo del Laboratorio Nacional de Alto Rendimiento (NLHPC), tiene la mayor capacidad de cómputo de Chile, y es utilizado en simulaciones y cálculos científicos de grandes volúmenes de datos.

### **Diciembre. Ingeniero del INH publicó en revista Geofocus.**

El ingeniero geomensor, Rodrigo Jaramillo Baltra, de la Unidad de Operaciones del INH, publicó su trabajo Generación de cartografía a partir de imágenes captadas con dron de ala fija, asociada a proyectos hidráulicos fluviales, en la revista Geofocus. La publicación, realizada en conjunto con Joan Cristián Padró García, doctor en Geografía y profesor adjunto en la Universidad Autónoma de Barcelona, se enmarca en su trabajo final del Máster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG), que cursó en dicha universidad entre 2018 y 2019.

## Hitos 2021

### **Enero. INH tendrá dos doctores, gracias a un convenio con la Universidad de Chile.**

Los ingenieros del INH, Luis Zamorano Riquelme y Jaime Cotroneo Ormeño, fueron seleccionados para ingresar al Programa de Doctorado de Ingeniería Civil, impartido por la Escuela de Postgrado y Educación Continua de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile. Lo anterior, gracias a un inédito convenio entre ambos organismos, el cual establece que el INH apoyará la investigación y docencia de este programa de doctorado, facilitando instalaciones, equipos y software para el desarrollo de investigaciones, tesis doctorales y otras actividades, y la FCFM dirigirá y aportará en el desarrollo de las líneas de investigación concordantes con las definiciones estratégicas del Instituto.

### **Enero. INH inició su participación en proyecto sobre monitoreo de aluviones de la U. de Aysén.**

Se realizó la primera salida a terreno a una cuenca en la Región Metropolitana, en el sector del Cajón del Maipo, como parte de un proyecto Fondef-IDeA de la Universidad de Aysén, que busca generar prototipos de sensores y plataformas de monitoreo y comunicación de datos para entender mejor los aluviones, utilizando tecnologías de muy bajo costo y en línea. El estudio se desarrolla con la colaboración del Instituto Nacional de Hidráulica (INH), la Universidad Adolfo Ibáñez, la Universidad de Newcastle (Inglaterra) y el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin).

### **Abril. INH firmó convenio con el Stockholm Environment Institute- US Center.**

El INH firmó un convenio con el Stockholm Environment Institute (SEI) - US Center para la colaboración técnica y científica en materia de modelación hidrológica, hidráulica y sobre el cambio climático, que fortalezca las capacidades institucionales y el intercambio de conocimientos.

### **Mayo. Directora del INH analizó policy paper de Cigiden sobre alerta temprana de eventos hidrometeorológicos.**

Se realizó el lanzamiento del policy paper: Sistema de monitoreo y alerta temprana (SMAT): un elemento esencial en la gestión de desastres de origen hidrometeorológico de Christian Oberli, Jorge Gironás, Cristián Escauriaza y Rodrigo Cienfuegos, investigadores del Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (Cigiden). En la actividad, participó la directora del INH, Scarlett Vásquez, quien redactó el prólogo de la publicación y comentó su análisis sobre el documento.

### **Junio. Se realizó la presentación final del proyecto Diagnóstico de Puentes.**

Los ingenieros Jaime Cotroneo y Felipe Negrete, de la Unidad

de Ingeniería y Desarrollo, efectuaron la presentación final del proyecto Diagnóstico de Puentes, ante todas las direcciones regionales de la Dirección de Vialidad. Este proyecto contempló el diagnóstico hidráulico de 14 puentes a lo largo de Chile, a través del levantamiento de información en terreno y posteriores análisis de los datos en gabinete.

### **Julio. Profesionales del INH participaron en curso.**

Dos profesionales del Instituto Nacional de Hidráulica participaron en el curso **Modelización Hidráulica y de Transporte de Sedimentos con Iber**, organizado por la Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería de Chile A.G. (AIC). La capacitación fue realizada de forma telemática por los desarrolladores de Iber desde España, mostró el flujo de trabajo, funcionamiento y capacidades del software de modelización hidráulica. Francisco Ulloa, jefe de la Unidad de Ingeniería y Desarrollo del INH, y Jaime Cotroneo, profesional de la misma unidad, participaron exponiendo algunos trabajos del instituto.

### **Agosto. Directora del INH fue electa presidenta de la Sochid.**

El directorio de la **Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (Sochid)** eligió como presidenta a **Scarlett Vásquez**, directora ejecutiva (s) del Instituto Nacional de Hidráulica (INH), quien es la primera mujer en ocupar el cargo en los 51 años de historia de la sociedad y fue electa por votación unánime.

### **Octubre. Presentación en el XXV Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.**

Eduardo González expuso el trabajo Aplicación de Coastsat a la Bahía de Coquimbo, Evaluación de la Línea de la Costa, el cual trata sobre el uso de una aplicación que permite obtener información de la posición de la línea de costa en cualquier parte del mundo, a partir de fotos satelitales. En este caso se utilizó en la Serena, comparando con datos de campo. La herramienta queda validada pues da bastante bien con los datos de campo.

Los autores del trabajo son los profesionales del INH Luis Zamorano, Eduardo González, Enrique Galecio y, Patricio Winkler, académico de la Universidad de Valparaíso.

### **Noviembre. Exposición en el Congreso IAHR Latinoamericano.**

Se presentó el artículo técnico Uso de Algoritmos de Inteligencia Artificial para Mejorar un Sistema de Pronóstico de Oleaje, en el que se usaron dos algoritmos de inteligencia artificial para mejorar las predicciones del modelo numérico SWAN, con el fin de obtener un pronóstico más certero en la costa. Los autores son los profesionales del INH Luis Zamorano, Andrés Tapia y Eduardo González.



# SELLO TÉCNICO

## INH



## Áreas técnicas

### TRABAJAMOS CON UN ENFOQUE SUSTENTABLE

Un servicio integral desarrollado de manera transversal por las unidades técnicas del INH

#### OPERACIONES



##### Trabajos de campo

Desarrollo de levantamientos topobatemétricos y mediciones de campo de variables hidráulicas tales como caudal, velocidad, corrientes, oleaje y mareas, así como de sedimentos en zonas marítimas o fluviales, a lo largo de todo Chile. Desarrollo de los modelos de terreno y planos de construcción de los modelos físicos.

#### CALIBRACIONES E INSTRUMENTACIÓN



##### Acreditados por el INN

Calibración de instrumentos de medición de caudal en flujo abierto y ducto cerrado; y ensayos de pruebas de bomba, con instalaciones y equipamiento único en el país de los modelos físicos.

#### INGENIERÍA Y DESARROLLO



##### Gestión de estudios

Liderazgo técnico y administrativo de los estudios y asesorías hidráulicas de la institución, definiendo metodologías y enfoques técnicos, así como la conformación de equipos de técnicos y profesionales expertos en hidráulica y asesores senior.

#### MODELACIÓN FÍSICA



##### Construcción de modelos y ensayos

Construcción de modelos físicos a escala reducida en el laboratorio de hidráulica con técnicas avanzadas y de alta precisión, de grandes y medianas obras hidráulicas; y la implementación de equipamiento de medición para el correcto registro de las variables hidráulicas de los diversos modelos, así como de las instalaciones experimentales existentes (canal de olas, de calibración, de socavación de pilas).

#### I+D+i



##### Investigación e Innovación

Desarrollo de líneas investigativas y articulación de iniciativas de investigación de toda la institución, así como con organizaciones externas, universidades y centros tecnológicos para desarrollos conjuntos. Generación de procesos y métodos innovadores, así como desarrollo de nuevas y mejores herramientas a utilizar en estudios y asesorías hidráulicas.

## HERRAMIENTAS

### Modelación física

Un modelo físico corresponde a la representación a escala reducida (o reproducción en miniatura) de un sistema físico, cuyo grado de sofisticación varía en función del objetivo de cada estudio o proyecto. La elección de la escala del modelo es vital para la correcta reproducción de los fenómenos de transporte de flujo y de sedimentos en ambientes naturales, así como para evaluar el comportamiento de obras hidráulicas y máquinas hidráulicas. Actualmente, es la herramienta de ingeniería más apropiada para verificar el diseño de obras complejas, donde los patrones de flujo son tridimensionales. Otro aspecto relevante de un modelo físico, es que brinda la posibilidad de medir o capturar variables hidráulicas críticas, en zonas a las cuales sería muy difícil o prácticamente imposible acceder y monitorear a escala real (de naturaleza).

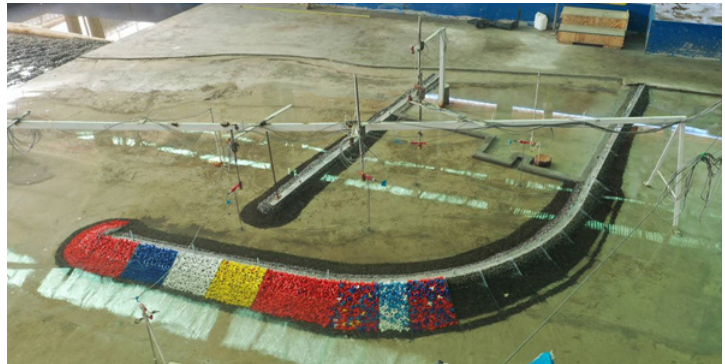
El INH ha tenido un rol clave en Chile en el desarrollo de estudios de ingeniería que han utilizado modelos físicos, logrando evaluar el funcionamiento y estabilidad de obras de protección costeras y fluviales; analizar el movimiento del agua y transporte de sedimentos en ríos y zonas costeras; caracterizar el comportamiento del flujo en obras de bocatoma, vertederos y descargas asociados a grandes obras hidráulicas; describir el comportamiento buques u otras estructuras flotantes; así como la evaluación de obras hidráulicas en sus fases constructivas.

#### ¿Por qué un modelo físico?

Por lo general la ingeniería presenta situaciones complejas y desafiantes debido a que muchas veces la naturaleza ofrece problemas en que la teoría existente no es suficiente para confrontar un fenómeno. Un ejemplo de esto son los flujos aluvionales, marejadas, socavaciones en los apoyos de los puentes (pilas), etc. Es por estas razones que la herramienta de la modelación física surge como una recurso fundamental a la hora de aclarar algunas respuestas.



Modelo Bocatoma Canal Las Palmas, aguas arriba del río Petorca, Región de Valparaíso.



Puesta en marcha modelo Físico 3D Relocalización de Caleta Arica, Región de Arica y Parinacota.

## HERRAMIENTAS

### Modelación numérica

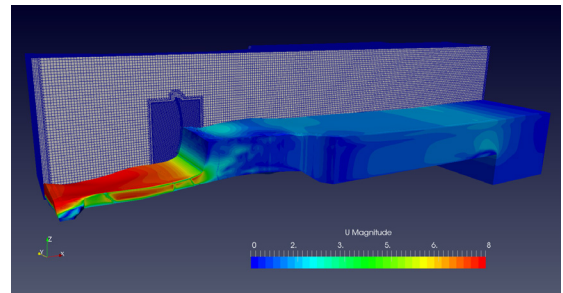
Los modelos numéricos son una herramienta para evaluar y entender la dinámica de un medio natural (oceánico - costero, fluvial), simulando computacionalmente las ecuaciones que rigen la dinámica de la mecánica de fluidos, resolviéndolas con la ayuda de diferentes aproximaciones y esquemas numéricos. El INH dispone de una plataforma computacional (clúster), herramientas y software, para abordar los estudios de modelación numérica, el cual, para ciertos modelos numéricos, disminuye alrededor de un 70% los tiempos en comparación a un computador de oficina. Algunos de los softwares más solicitados por los clientes son Iber, Mike21, Telemac, OpenFoam, Swan, Flo2D, Delft3D, CORMIX, entre otros. El instituto ha realizado una amplia cantidad de modelaciones numéricas, entre las cuales destacan Canal de Chacao (2D y 3D), Rompimiento de presas (2D), Embalse Ancoa (3D), Río Mapocho (2D), Flujos Laháricos Villarrica (2D), entre otros.

#### ¿Por qué un modelo numérico?

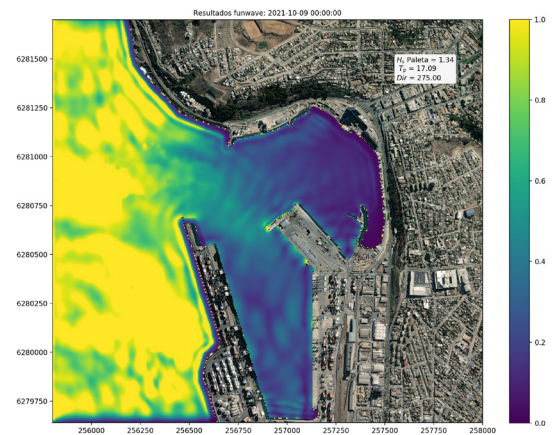
Muchos problemas de ingeniería abarcan grandes extensiones de terreno, necesitan el análisis de variables en largos periodos de tiempo o requieren la evaluación de numerosas alternativas a implementar. Es aquí donde los modelos numéricos aparecen como una alternativa rápida y robusta técnicamente. Sin la modelación numérica se haría imposible realizar *forecasting* y *hindcastind* en diferentes áreas de la física, como por ejemplo oleaje, meteorología, cambio climático, etcétera, permitiendo tomar decisiones que en muchas ocasiones salvan vidas humanas.

#### Consideraciones

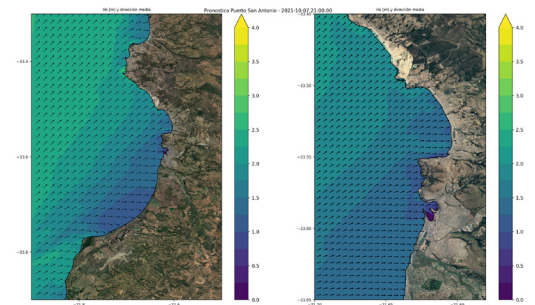
Es preciso tener claro el objetivo o la problemática a abordar, lo que permitirá tomar la decisión correcta al escoger un modelo en una, dos o tres dimensiones y por otra parte saber los antecedentes necesarios y mínimos para realizar la modelación. La especificidad de la problemática repercute directamente en el tipo de modelo, mallado y en consecuencia en los tiempos de cómputo. Se debe procurar que los resultados del modelo numérico sean contrastados con datos de campo de buena calidad para asegurar la representación del fenómeno en estudio.



Corte transversal mostrando velocidad del flujo en compuerta de descarga. Se utilizó OpenFOAM para modelar diversas condiciones de flujo y apertura de la compuerta.



Hs desde Funwave en proyecto de Predicción de oleaje para Puerto de San Antonio.



Condiciones de oleaje en las cercanías de San Antonio obtenido desde SWAN, se observa Hs y dirección del oleaje.

## Principal equipamiento e instrumentación

### Calibraciones

El INH realiza ensayos y calibraciones acreditadas, asociados al funcionamiento de maquinarias hidráulicas utilizadas en la mayoría de las cadenas productivas de nuestro país, así como también, en las maquinarias y sistemas de medición utilizados en sus modelos físicos y ensayo de bombas centrífugas. El instituto otorga respaldo metrológico, asegurando resultados de medición con trazabilidad y válidos nacional e internacionalmente. Cuenta principalmente con tres áreas de trabajo: calibración en canal abierto, calibración en ducto cerrado y ensayo de bombas centrífugas. Cabe destacar que el INH es el único laboratorio en Chile acreditado en Flujo Líquido en canal abierto ante el Instituto Nacional de Normalización (INN).



Banco de ensayos de bombas centrífugas horizontales.

### Operaciones

El Instituto realiza mediciones en terreno y en laboratorio (modelos a escala reducida) con el fin de recolectar la información de entrada para la elaboración de los estudios que ejecuta, así como también la obtención de resultados en los diversos ensayos asociados a la ejecución de los proyectos que elabora. El INH cuenta con profesionales y equipamiento tecnológico para adquirir datos en el ámbito de la geodesia, topografía, aerofotogrametría, hidrografía y oceanografía. El rápido avance de la ciencia y tecnología ha requerido de una continua actualización en el instrumental utilizado así como la capacitación del personal encargado de la adquisición de estos datos y su proceso, lo que redundará en una gran disminución en los tiempos de ejecución de los trabajos, mayor calidad en los resultados y capacidades operativas del INH.



#### ECOSONDA ODOM ECHOTRAC CV-100

Su función es determinar la profundidad del mar, lagos o ríos y conocer las características del fondo a partir de la porción de energía acústica reflejada por el fondo.



#### ESCÁNER LÁSER TOPCON GLS 1500

Permite trabajar el campo detallando con precisión y rapidez el terreno en 3 Dimensiones. El equipo preparado para el campo permite una muestra del terreno a 30.000 puntos por segundo.

### ECOSONDA ODOM ECHOTRAC CV-100

Su función es determinar la profundidad del mar, lagos o ríos y conocer las características del fondo a partir de la porción de energía acústica reflejada por el fondo.

#### Características principales

Compacta y versátil, proporciona al usuario la opción de obtener los datos de forma completamente digital:

Doble frecuencia (Dual Channel):

Banda alta: 100kHz a 340kHz;

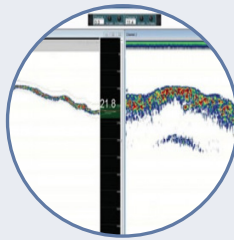
Banda baja: 24kHz a 50kHz.

- Precisión:

0.01m  $\pm$  0.1% de la Profundidad (en 200kHz)

0.10m  $\pm$  0.1% de la Profundidad (en 33kHz)

- Rango de profundidades desde 30cm a 600 m (depende de la frecuencia y transductor utilizado).



### ESCÁNER LÁSER TOPCON GLS 1500

Permite trabajar el campo detallando con precisión y rapidez el terreno en 3 Dimensiones. El equipo preparado para el campo permite una muestra del terreno a 30.000 puntos por segundo.

#### Características principales

Alcance máximo 330 m. al 90% de reflectividad, precisión de 4 mm a 150 m., precisión angular de 6" horizontal y vertical, cámara digital de 2.0 megapíxeles, láser invisible clase 1, software de postproceso Topcon Scanmaster.





## REDES DE COLABORACIÓN

### Redes y alianzas

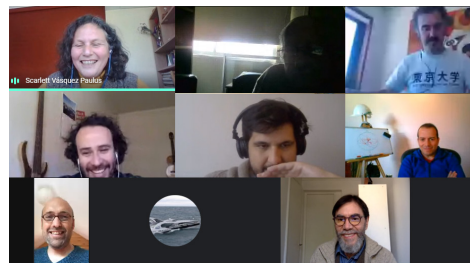
Para dar respuesta a problemáticas complejas, se requiere de la academia y otras Instituciones, el INH mantiene membresías en organismos científicos y convenios de cooperación, tanto en el ámbito nacional como el internacional.

#### Nacional

- Coordinación de la Red Nacional de Laboratorios de Hidráulica.
- Convenio con el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin).
- Convenios con Universidad de Chile, Universidad de Valparaíso, Universidad de Concepción y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Colaboración permanente con organismos del Estado (Ministerio de Obras Públicas, Ministerio del Medio Ambiente, Comisión Nacional de Riego, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Transporte y Urbanismo, entre otros).
- Colaboración permanente con SOCHID.
- Convenio con Marine Energy Research and Innovation Center (Merici).
- Convenio con el Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (Cigiden).
- Convenio con la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas.

#### Internacional

- Presidencia de la Red de Institutos Nacionales Iberoamericanos de Ingeniería e Investigación Hidráulica (RINIHH).
- Miembro del Comité Chileno para el Programa Hidrológico Internacional (Conaphi) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
- Colaboración permanente con HR Wallingford, Inglaterra.
- Convenio con el Stockholm Environment Institute- US Center.



Cuarta reunión de la Red Nacional de Laboratorios de Hidráulica – 7 de octubre de 2020.

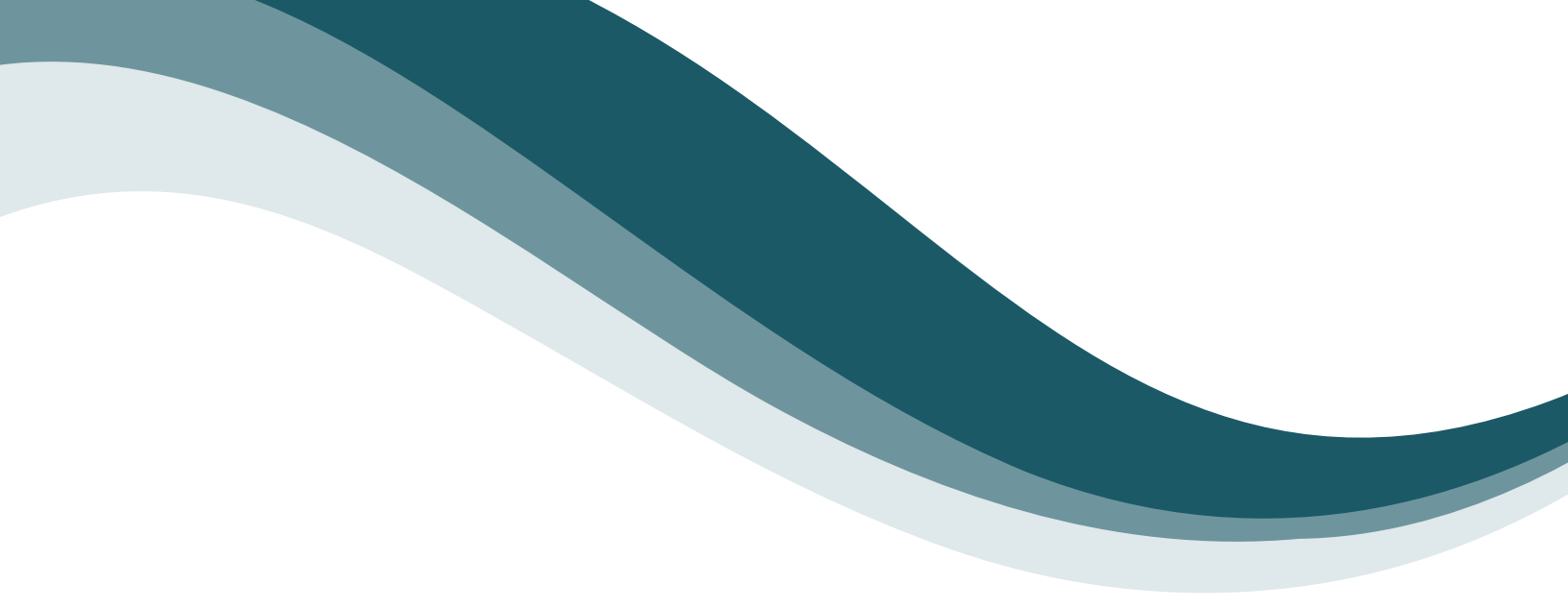


Participación en el XXIV Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, en Valparaíso, día 12 de noviembre de 2020.



Charla “Estuarios y Desembocaduras: Evaluando Morfología y el Destino Final de las Aguas” donde exponen académicos de la UTFSM y Luis Zamorano, Jefe de la Unidad de I+D+i del INH, el día 22 octubre de 2020.



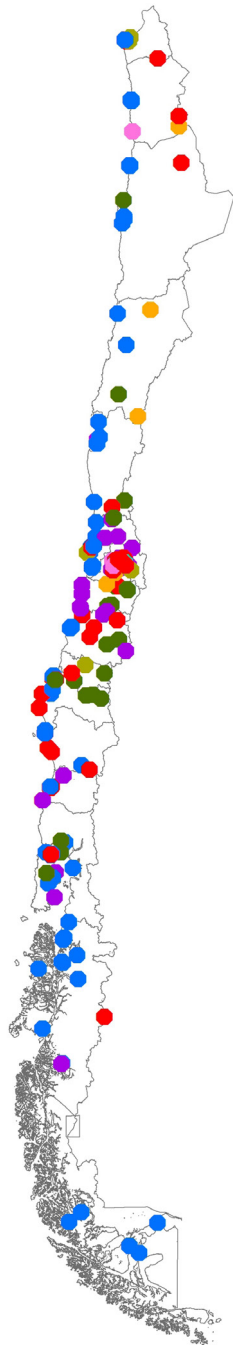


# ESTUDIOS

## 2020-2021

## ESTUDIOS 2020-2021

En sus 54 años de historia, el INH ha desarrollado más de 300 estudios hidráulicos relacionados con marejadas, inundaciones, puertos, embalses, aluviones, infraestructura hidráulica y servicios de aforos y calibraciones a lo largo de todo Chile. San Antonio y Valparaíso son las infraestructuras portuarias donde se han desarrollado más estudios.



- Aforos y calibraciones de instrumentos
- Hidráulica aluvional
- Hidráulica de marítima costera y puertos
- Hidráulica de ríos
- Infraestructura hidráulica
- Mediciones en terreno relativos a la hidráulica
- Medio Ambiente
- Otros
- Recursos hídricos e hidrogeología

**331**  
estudios  
en total

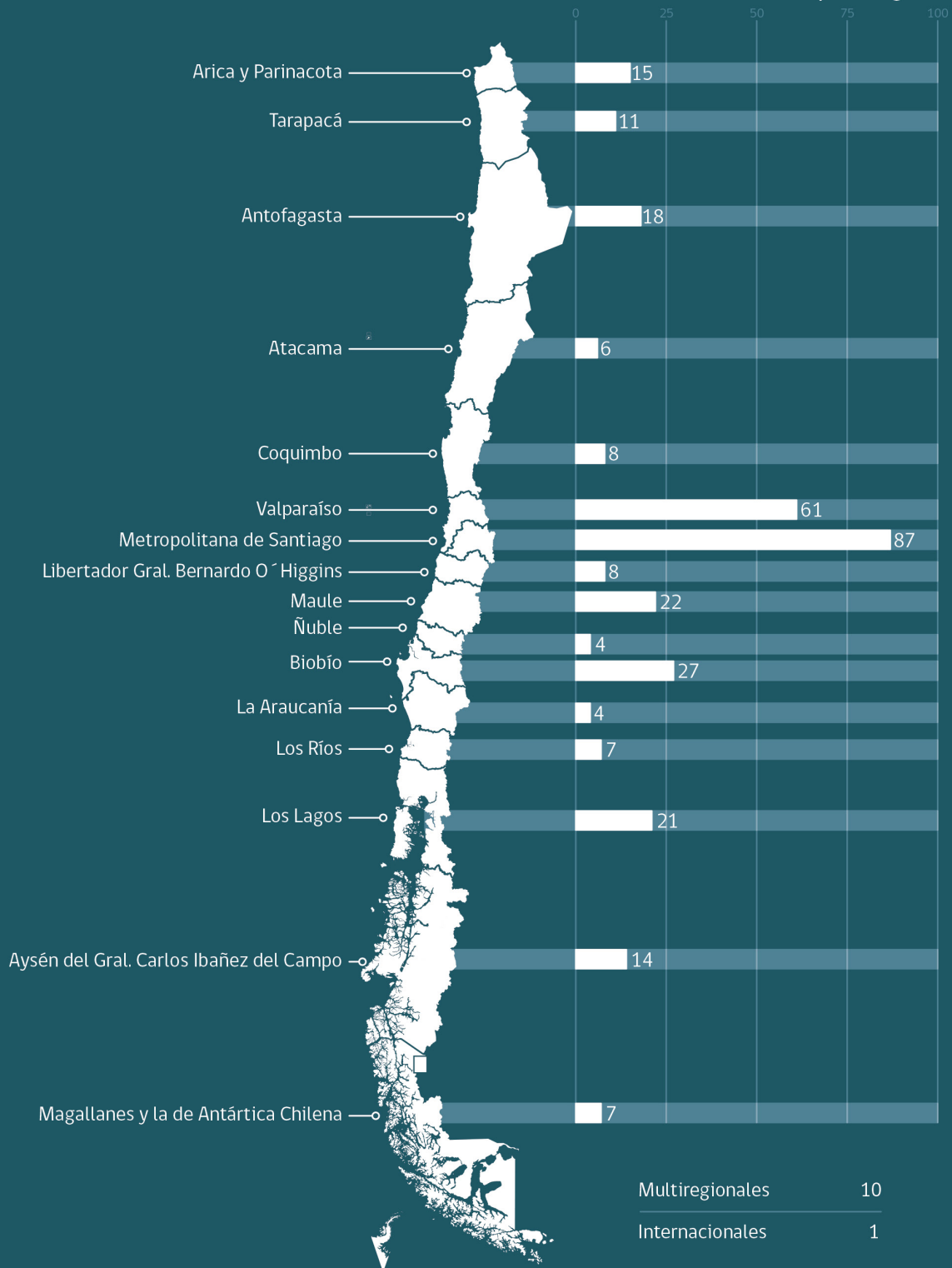
**320**  
estudios  
en regiones

**10**  
estudios a  
escala nacional

**1**  
estudios a escala  
internacional

Temática	Cantidad de Estudios	%
Aforos y calibraciones de instrumentos	10	3,0
Hidráulica aluvional	1	0,3
Hidráulica de marítima costera y puertos	136	41,1
Hidráulica de ríos	84	25,4
Infraestructura hidráulica	46	13,9
Mediciones en terreno relativos a la hidráulica	36	10,9
Medio Ambiente	2	0,6
Recursos hídricos e hidrogeología	10	3,0
Otros	6	1,8
<b>Total general</b>	<b>331</b>	<b>100,0</b>

## Cantidad de Estudios por Región



## ESTUDIOS 2020-2021

### Índice de proyectos

Diagnóstico Hidráulico de Puentes	27
Diseño sistema de disipación de energía, Embalse Ancoa	29
Servicio de apoyo para la generación de un sistema de predicción de oleaje	31
Estudio de obra de bocatoma Canal Las Palmas	33
Diagnóstico Playa La Serena	35
Plan de Infraestructura Hídrica 2020 (Etapa 1)	37
Plan de Infraestructura Hídrica 2021 (Etapa 2)	39
Modelo numérico canal de Chacao	41
Modelación numérica relaves	43



## Diagnóstico Hidráulico de Puentes

### Interregional

A hydraulic diagnosis has been carried out on 14 bridges classified in critical condition by the Ministry of Public Works of Chile (MOP). For this, field measurements of the different variables that have an effect on the stability of these structures were carried out. This made it possible to categorize the analyzed bridges according to their hydraulic vulnerability through 5 different evaluation methodologies, as well as to give suggestions on the effects of bridge scour such as the incorporation of protection works.

### Desafío o problema a resolver

Durante el año 2018 el Ministerio de Obras Públicas (MOP) determinó que en Chile existían 14 puentes en estado crítico, vulnerables al colapso, a partir de un análisis realizado a más de 1.000 puentes emplazados a lo largo del país. En este contexto, el Instituto Nacional de Hidráulica debía realizar un diagnóstico desde el punto de vista hidráulico de esos 14 puentes en situación crítica para lo cual se efectuaron robustas campañas de medición en terreno que permitieran analizar rigurosamente el estado de vulnerabilidad hidráulica de las estructuras viales.

### Relevancia del proyecto para el país

Los puentes son estructuras vitales para la conectividad vial del país, y las consecuencias del colapso de estas estructuras son catastróficas. Dado lo anterior, es fundamental diagnosticar hidráulicamente el estado de las estructuras de soporte de los puentes, vale decir, las cepas y los estribos, así como también conocer el impacto de agentes externos, como la presencia de obras hidráulicas en las cercanías del puente, o efectos antrópicos como la extracción de áridos. El estudio permitió diagnosticar y categorizar según su vulnerabilidad a los 14 puentes críticos del país, además de recomendar acciones de mitigación ante los nocivos efectos de fenómenos hidráulicos en la estabilidad de las estructuras. La participación del INH en estos estudios es de gran relevancia por ser la única institución con la instrumentación y capacidad técnica suficiente para abordarlos.

### Cómo se desarrolló

El diagnóstico hidráulico consideró una campaña de medición en terreno en cada uno de los 14 puentes críticos. Estas campañas se realizaron para rescatar información fundamental para el análisis tales como medición de la socavación actual alrededor de cepas y estribos, dimensiones de la infraestructura del puente, caracterización y composición del lecho, determinación de las características hidráulicas del cauce, etc. Además, mediante el análisis de imágenes satelitales se evaluó el dinamismo morfológico de los cauces. Toda esta información se utilizó para realizar el diagnóstico hidráulico de los puentes y recomendar acciones de mitigación o medidas complementarias para reducir el riesgo de colapso de las estructuras viales. Finalmente, se categorizaron los puentes según la vulnerabilidad hidráulica de ellos mediante el uso de cinco metodologías o índices de evaluación de puentes existentes en la literatura universal.

## Elementos innovadores del estudio

El desarrollo del estudio requería de un equipo de trabajo multidisciplinario para obtener la información suficiente en las campañas de terreno que permitieron robustecer el diagnóstico de los puentes analizados. Por otra parte, se efectuaron mediciones de una gran cantidad de variables y en diversos ambientes fluviales, vale decir, tanto en cauces de régimen supercrítico como subcrítico o transcrito, lechos de granulometría fina, gruesa y extendida, ríos de alta pendiente y de llanura o cercanos a la desembocadura, etc. Del mismo modo, se debió implementar una metodología de medición adecuada y eficaz para trabajos en terreno como el uso de imágenes captadas con dron para la obtención de la granulometría superficial del lecho.

## Aporte del estudio, resultados o conclusiones

El estudio permitió, en primer lugar, categorizar los 14 puentes analizados según la vulnerabilidad hidráulica, empleando diversas metodologías de evaluación para ello. Por otro lado, el diagnóstico realizado a cada una de las estructuras viales permitió determinar caso a caso aquellos factores que recrudecen o impactan negativamente en la estabilidad de estas, recomendando acciones o medidas de mitigación en pos de reducir la vulnerabilidad de las mismas. Así por ejemplo, las medidas recomendadas van desde acciones básicas como la limpieza frecuente de cauces en las cercanías del puente hasta la incorporación inmediata de obras de protección o la suspensión de circulación ante un inminente riesgo de colapso.



Fotografía tomada en terreno del Puente Río Claro, comuna de Yumbel, Región del Biobío.  
Se observa un fuerte grado de socavación y exposición de fundaciones.

## Diseño sistema de disipación de energía, Embalse Ancoa

### Región del Maule

A 3D numerical modeling study was developed with OpenFOAM (open source software) in order to analyze the hydrodynamic behavior of the flow in the ski jump of the flood evacuator of the Ancoa reservoir located in Linares town, Chile. The study made it possible to determine the configuration of the ski jump for an adequate operation of the evacuation work, as well as to define the impact zone of the jet in the return to the Ancoa River for the delimitation of the energy dissipation pool.

### Desafío o problema a resolver

El Embalse Ancoa es una obra construida y en operación desde el año 2012. Tras algunas crecidas puntuales del río Ancoa durante el año 2016 se observó un efecto erosivo al pie de la obra de evacuación del embalse en el sector destinado a la disipación de energía del flujo. Dado lo anterior, la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) debió solicitar una adecuación del sistema de evacuación de crecidas del embalse para lograr un óptimo y seguro funcionamiento de esta obra. En este contexto, el INH debía realizar un estudio mediante modelación numérica para analizar el comportamiento hidrodinámico del flujo, con objeto de apoyar y validar el diseño del salto de esquí de la obra de descarga. Una particular complejidad del estudio tuvo relación con el análisis del despegue del flujo del salto de esquí, el cual estaba fuertemente influenciado por la geometría del cuenco disipador.

### Relevancia del proyecto para el país

Los embalses de riego, y en particular el Embalse Ancoa, son obras de gran relevancia para las comunidades agrícolas usuarias del recurso hídrico, toda vez que permiten almacenar grandes volúmenes de agua para ser utilizados en períodos de sequía, cobrando más importancia aún en el escenario actual de cambio climático y de escasez hídrica. Dada la gran envergadura del embalse, es de vital importancia el correcto funcionamiento de la obra de evacuación de crecidas, ya que un desempeño defectuoso puede ocasionar consecuencias tremendamente nocivas. El desarrollo de este estudio es fundamental para el diseño del salto de esquí, componente principal del evacuador de crecidas, al lograr esclarecer el comportamiento hidrodinámico del flujo en esta obra.

### Cómo se desarrolló

Para estudiar el comportamiento hidráulico del flujo en el salto de esquí se desarrolló un modelo numérico 3D en el software libre OpenFOAM. En este se analizó la situación base o existente de la obra, además de 2 alternativas en la configuración del salto de esquí, todas ellas para caudales asociados a crecidas de 2, 5, 10 y 1.000 años de período de retorno. En cada una de las modelaciones se efectuaron análisis de las variables hidráulicas de interés, vale decir, altura y velocidad de escurrimiento, presión hidrodinámica en el fondo de la obra y alcance del impacto del chorro en la zona de restitución al cauce.

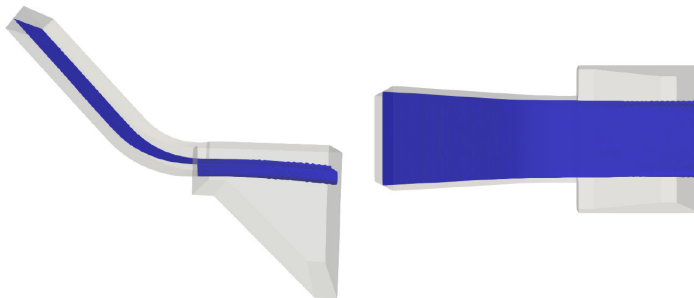
## Elementos innovadores del estudio

Para robustecer el análisis, y dar apoyo a la modelación 3D en OpenFOAM, se realizaron modelaciones con el método de Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) el que se utilizó para estudiar particularmente el despegue del flujo del salto de esquí. Cabe destacar que el método SPH es una potente herramienta emergente en el campo de la dinámica de fluidos computacional (CFD).

## Aporte del estudio, resultados o conclusiones

El estudio permitió definir el comportamiento hidrodinámico del flujo en el salto de esquí del evacuador de crecidas del embalse Ancoa con el cual se obtuvo un diseño óptimo y eficaz de la obra. En particular, se determinó el ángulo de despegue y radio de curvatura del salto de esquí que permitiera un adecuado funcionamiento de la obra evacuadora. Adicionalmente, se determinaron las zonas de impacto del chorro en la restitución del flujo al río Ancoa, para cada uno de los caudales estudiados, lo que permite definir los límites de pre-excavación de la piscina de disipación de energía. Finalmente, y como resultado colateral del estudio, se logró representar el despegue del salto de esquí mediante modelación numérica con el método de SPH.

T = 1000 años



*Resultados Superficie libre para  
T=1.000 años, Alternativa 1.  
Sector salto de esquí y canal  
colector del Embalse Ancoa*



Obra de evacuación de crecidas del Embalse Ancoa. Específicamente se observa el rápido de descarga que finaliza con una obra de disipación tipo salto de esquí, visto desde aguas abajo.



## Servicio de apoyo para la generación de un sistema de predicción de oleaje Región Metropolitana de Santiago

The Directorate of Port Works (DOP) of the Ministry of Public Works, in conjunction with the Logistics Development Program of the Ministry of Transport and Telecommunications, has commissioned the National Institute of Hydraulics (INH) to conduct the study titled "Support Service for the Creation of a Wave Prediction System." This study involves the development of a wave climate forecasting system aimed at increasing safety and efficiency in port facilities. The purpose of the system is to develop a wave prediction tool using numerical modeling, particularly state-of-the-art models in this field. These models consider the physical processes of wave generation and propagation, as well as their dissipation and energy transfer. The wave prediction system aims to provide relevant information for the operability of the most important public and private ports in the country, delivering wave parameters at the entrances of these ports. For a more detailed analysis, a pilot port (San Antonio Port) is considered to deliver wave height information within the harbor basin. It is worth mentioning that the methodology used is replicable for any other port in the country.

### Desafío o problema a resolver

La Dirección de Obras Portuarias (DOP), del Ministerio de Obras Públicas, en conjunto con el programa de desarrollo logístico del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones ha solicitado la elaboración de un sistema de pronóstico de clima de oleaje, con el fin de aumentar la seguridad y eficiencia en las instalaciones portuarias a lo largo del país.

El sistema tiene como propósito el desarrollo de una herramienta de predicción de oleaje mediante la aplicación de modelación numérica, estos consideran los procesos físicos de generación y propagación del oleaje, así como su disipación y transferencia de energía.

### Relevancia del proyecto para el país

El sistema de predicción del oleaje tiene como objeto suministrar información relevante para la operatividad portuaria, para los puertos públicos y privados de uso público más importantes del país, considerando la entrega de los parámetros del oleaje a la entrada de dichos puertos. En el caso particular, y con el fin de realizar un análisis más detallado, se considera un puerto piloto (puerto de San Antonio) para la entrega de la altura del oleaje al interior de la dársena. Cabe mencionar que la metodología utilizada en el puerto piloto es replicable a cualquier otro puerto del Estado en un futuro.

### Cómo se desarrolló

El estudio se dividió en 3 etapas, las que tienen relación directa con los modelos numéricos que se desarrollaron según la escala que se desea resolver.

- Generación global de oleaje: Esta etapa consideró la representación de forma adecuada de los mecanismos de generación y propagación de oleaje en la costa de Chile y su plataforma continental. Para ello se realizaron simulaciones utilizando el modelo numérico WaveWatchIII, el cual mediante la utilización de datos globales de vientos de la cuenca del pacífico, obtendrá información detallada del oleaje espectral en nodos ubicados en aguas profundas.
- Propagación Regional de oleaje: A partir de los resultados obtenidos de la modelación global de oleaje, se realizan propagaciones de oleaje considerando el modelo regional SWAN(Simulating WAVes Nearshore) hasta nodos costeros.

- Propagación Local de oleaje: mediante los resultados obtenidos de la modelación regional, se realizaron simulaciones de forma de obtener resultados de la propagación de oleaje en la costa y al interior de dársenas portuarias.

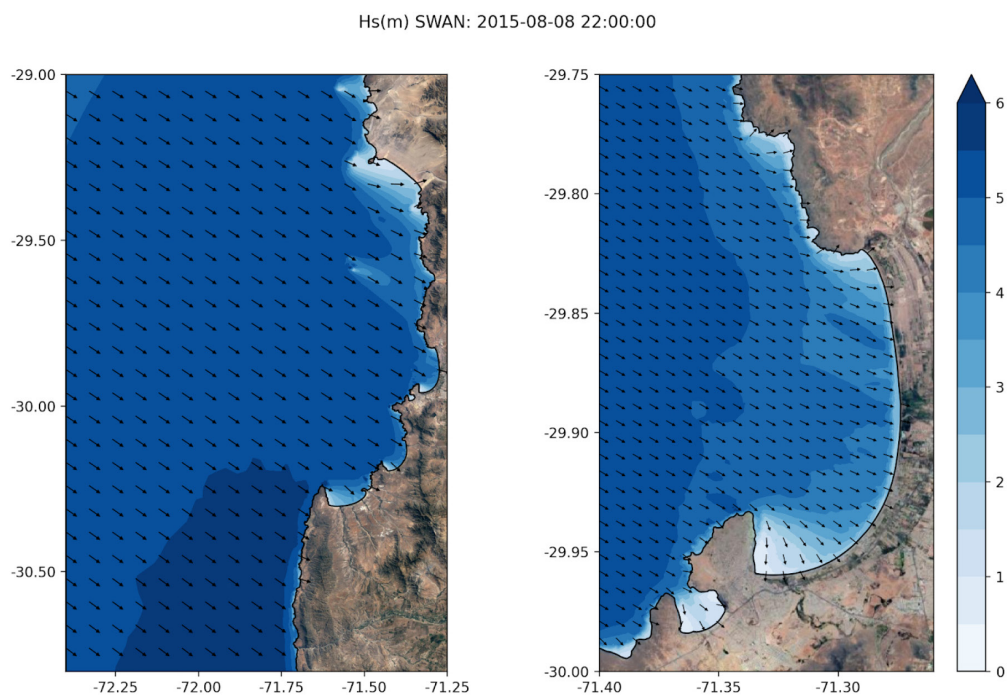
## Elementos innovadores del estudio

Para obtener la agitación en la dársena se utilizan los resultados de SWAN como entrada al modelo FUNWAVE. Este modelo utiliza la ecuación de Boussinesq para propagar el oleaje, con la cual, es posible resolver la superficie libre y obtener la serie de tiempo del oleaje sobre todo el puerto de San Antonio.

La calibración del modelo numérico local se realizó mediante el procesamiento de los datos obtenidos por los mareógrafos (sensores de presión) al interior de la dársena del puerto. Estos fueron configurados a una tasa de muestreo de 1 hz, cuyas señales fueron filtradas mediante filtros pasa banda para eliminar las oscilaciones superiores 30 s, obteniendo así solo las variaciones de la superficie libre asociados a procesos de oleaje. Estos datos procesados son comparados con los obtenidos por el modelo numérico FUNWAVE, permitiendo ajustar y calibrar sus resultados.

## Aporte del estudio, resultados o conclusiones

El estudio permite la propagación espectral de oleaje desde aguas profundas hasta el interior de la dársena del puerto de San Antonio, obteniendo información de parámetros espectrales de oleaje en los sitios de atraque de las embarcaciones, siendo este procedimiento replicable a todos los puertos de uso público del país, incluyendo información de pronóstico de oleaje en aguas intermedias a lo largo de la costa. Los datos obtenidos son de gran utilidad para cierre o aperturas de zonas portuarias en condiciones de tormentas.



Dirección y altura significativa de altura significativa (Hs), obtenidas con modelo regional SWAN para la costa de la Región de Coquimbo y la Bahía de Coquimbo.

## Estudio de obra de bocatoma Canal Las Palmas

### Región de Valparaíso

A movable bed physical model (1:30 scale) was designed and built to study the hydraulic and sedimentological behavior of the Petorca river in the projected intake of the "Las Palmas" reservoir. A set of experiments carried out for different floods of the Petorca River made it possible to determine runoff levels and the erosion of the bed at the foot of the reservoir intake works. It was used to recommend the inclusion of rip rap or rock armour at the foot of the frontal barrier and the elevation of the intake walls in order to ensure the correct operation of the works.

### Desafío o problema a resolver

El Embalse Las Palmas es una obra proyectada a construir a unos 17 km al oeste de la localidad de Petorca, destinado a abastecer principalmente las necesidades de riego con un volumen total de 55 millones de m<sup>3</sup>. El embalse será alimentado por un canal de 57 km de largo proveniente desde la cuenca del río Petorca para lo cual se dispone de una bocatoma que capte las aguas del cauce y sean conducidas al embalse. ARCADIS Chile solicitó al INH realizar el estudio en modelo física a escala reducida de la bocatoma del río Petorca para analizar el comportamiento hidráulico y sedimentológico del sector donde se proyecta la construcción de la bocatoma y barrera vertedora frontal. Uno de los grandes desafíos consiste en la fiel reproducción de la tasa de transporte de sedimentos o gasto sólido del cauce para crecidas de distintos períodos de retorno, que determina en gran medida el funcionamiento de la obra en cuestión.

### Relevancia del proyecto para el país

Los embalses de riego son obras que cobran cada vez mayor relevancia debido a los extensos períodos de sequía que afectan al país como consecuencia del cambio climático que azota al planeta actualmente, toda vez que permiten la acumulación de grandes volúmenes de agua en períodos de crecidas para utilizar el recurso hídrico durante los meses de escasez. Dado lo anterior, es fundamental que las obras de captación (bocatoma) que alimentan los embalses funcionen adecuadamente con objeto de mantener continuidad de operación y suministro de agua. En particular, el desarrollo del estudio permite definir una óptima configuración de las obras que componen la bocatoma del Embalse Las Palmas, otorgando seguridad para el diseño de las mismas.

### Cómo se desarrolló

Para el desarrollo del estudio se diseñó, construyó e implementó un modelo físico a escala reducida (1:30) con lecho móvil que permitía reproducir la hidrodinámica de un tramo del río Petorca y el comportamiento sedimentológico del lecho en la zona analizada. En él se efectuaron, en primer lugar, pruebas de pseudo calibración de la tasa de transporte de sedimentos del río. Luego, se modelaron crecidas asociadas a 10, 25, 100 y 200 años de período de retorno, en las cuales se registran alturas de escurrimiento en 11 puntos del modelo mediante el uso de sensores ultrasónicos. Adicionalmente, para determinar la variación del lecho se levanta la topografía del modelo antes y después de cada ensayo, haciendo uso de dos tecnologías para este fin: drone y estación total. Esto permitió contrastar perfiles transversales y longitudinales para determinar zonas de erosión y depositación de sedimentos, y en particular, para conocer la erosión al pie de las obras proyectadas cuyo dato es utilizado para definir las cotas de fundación de estas.



Vista del modelo físico de la barrera vertedora correspondiente a la bocatoma del Embalse Las Palmas.

### Elementos innovadores del estudio

El principal elemento innovador del estudio corresponde al uso del dron para el levantamiento topográfico del modelo físico, contratado con la medición convencional mediante el equipo estación total para validar los resultados. Cabe destacar que el uso de drones para levantamientos topográficos en terreno están siendo ampliamente utilizados en la industria, y en esta ocasión se le ha dado utilidad incluso en labores de medición en laboratorio.

### Aporte del estudio, resultados o conclusiones

En los ensayos de modelación física realizados se logró determinar la erosión al pie de las obras que componen la bocatoma del Embalse Las Palmas, con lo cual se recomendó la inclusión de enrocados de protección para otorgar mayor seguridad en el funcionamiento de la misma. De igual manera, se recomendó la elevación de la cota de coronamiento de los muros de la bocatoma dado que la superficie libre del flujo alcanza la cota sin respetar las revanchas de seguridad.



## Diagnóstico Playa La Serena

### Región de Coquimbo

The Directorate of Port Works has commissioned this study in response to the growing concern expressed by the local community about the current state of La Serena beach. Over the past year, the beach has experienced a process of erosion and progressive retreat, which has generated unease among residents. Furthermore, the beach was affected by the tsunami of September 2015 and by storm surge events, which have left an indelible mark on the memory of beach users. The study aims not only to diagnose the current situation but also to propose conceptual solutions to mitigate these adverse effects. The National Institute of Hydraulics (INH) was hired by the consulting firm Aguas Consultores to provide specialized advice on all modeling and diagnostic.

### Desafío o problema a resolver

En la última década, han ocurrido a lo menos dos eventos históricos de marejadas (oleaje extremo), generando la preocupación por el deterioro y la erosión de la costa, así como por las inundaciones generadas en la Avenida del Mar (Winckler et al., 2017; Campos, Beyá & Mena, 2015). De esta manera, y ante la sensibilidad de la comunidad local, la Dirección de Obras Portuarias (DOP) y Aguas consultores SPA solicitaron el estudio, con el objetivo de evaluar el estado de las playas más turísticas de la zona, realizando un balance sedimentológico de la bahía y como esta será afectada a mediados y fines de siglo, proponiendo a nivel conceptual medidas de mitigación a la erosión costera.

### Relevancia del proyecto para el país

Informes de IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) indican que el cambio climático aumentará la erosión costera en todo el mundo, cambiando significativamente las zonas costeras. En ese contexto, y considerando que existe una carencia de estudios en la materia, y mucho más de mediciones a lo largo de la costa, resulta atractivo disponer de metodologías que permitan el desarrollo de planes y medidas de mitigación de los efectos del cambio climático en zonas costeras.

### Cómo se desarrolló

Para abordar el análisis sedimentológico de la bahía de Coquimbo se desarrolló un balance (volumen de control), determinando los aportes y pérdidas de sedimentos que tiene las playas, identificando tanto las unidades geomorfológicas costeras (cauces de agua, salientes, dunas, quebradas, etc.), la dinámica costera (oleaje, mareas y corrientes litorales) y los efectos antropogénicos.

Respecto de los aportes estos corresponden a flujos netos positivos de sedimento al interior de un volumen de control, siendo los más significativos los generados por los ríos o por flujos a lo largo de la costa, también pueden existir aportes producto de la erosión de acantilados cercanos. Respecto de los sumideros ó los flujos netos negativos, estos pueden ser generados por cañones sumergidos, por el transporte eólico que retira los sedimentos superficiales, cuando hay vientos fuertes, y también por los flujos laterales, en donde se transfiere sedimentos a volúmenes de control vecinos. A estos se le agrega eventos muy extremos como tsunamis o marejadas muy extremas capaz de generar corrientes que pueden transportar sedimentos hacia aguas muy profundas.

## Elementos innovadores del estudio

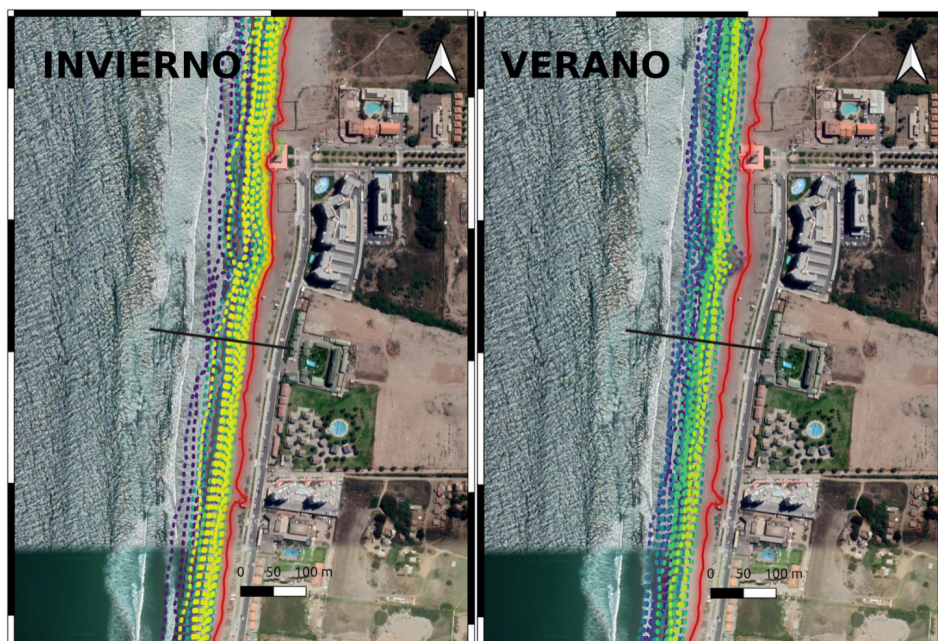
Para la detección histórica de la línea de costa se empleó el conjunto de herramientas de código abierto denominado "CoastSat" (Vos et Al, 2019), que permiten obtener la posición de la línea de costa mediante la aplicación de algoritmos, basado en redes neuronales y imágenes proporcionadas por los satelitales Landsat (L5, L7 y L8) y Sentinel-2 en la zona de estudio.

El análisis de las proyecciones del cambio climático, oleaje y nivel del medio del mar, se obtuvieron de modelaciones numéricas para mediados de siglo (2026-2045) y fin de siglo (2081-2100), extraídas desde modelos climáticos globales del proyecto CMIP5.

## Aporte del estudio, resultados o conclusiones

Los resultados han estimado tasas de retroceso de aproximadamente 1 m/año de la línea de costa, en los últimos 20 años, identificando una disminución de los aportes de sedimentos del río Elqui asociados a la mega sequía, la extracción excesiva de áridos y el efecto en la parte alta de la cuenca del embalse Puclaro, que repercute negativamente en la playa.

Bajo una situación conservadora y considerando las descargas (aportes) de sedimentos similares a como se ha observado los últimos 20 años, se estiman retrocesos de aproximadamente 30 m a mediados de siglos y 110 m a fines de siglo. Los eventos extremos serán capaces de erosionar la totalidad del frente de la playa, probablemente llegando hasta el borde de la Av. del mar, presentando erosiones no vistas hasta la fecha. La condición será peor para fines siglos, ya que los efectos erosivos generados podrían eliminar en su totalidad el ancho de playa de la zona de estudio, si no se realizan medidas de mitigación en el mediano plazo y largo plazo.



Variaciones de la línea de costa en verano e invierno, período 2000-2020, a partir de imágenes satelitales. Sector norte de la bahía de Coquimbo.

## Plan de Infraestructura Hídrica 2020 (Etapa 1)

### Interregional

The first phase of the “Water Infrastructure Plan 2020” study, aims to carry out a baseline survey of water resources at national level, taking into account supply, demand and infrastructure initiatives by basin. These initiatives have been identified in the Water Plan 2019, prepared by the General Direction of Public Works of the Ministry of Public Works.

### Desafío o problema a resolver

La Dirección General de Obras Públicas (DGOP) durante el año 2019 realiza el Plan de Inversión en Infraestructura y Gestión Hídrica 2020-2050. Esta consultoría consistió en tomar este plan y paralelamente realizar un levantamiento de la cartera de iniciativas propuestas en los planes regionales, por cuenca y completar un listado de todas las iniciativas existentes, para 52 cuencas las cuales presentaban iniciativas de obras hidráulicas (estructurales y no estructurales). El objetivo de esta etapa fue cruzar este levantamiento de iniciativas con la oferta y demanda hídrica, para cada una de estas cuencas.

### Relevancia del proyecto para el país

Si bien el Instituto Nacional de Hidráulica en el año 2018 desarrolló para la Dirección de Planeamiento un estudio similar denominado “Análisis de Requerimientos de Largo Plazo Infraestructura Hídrica”, esta nueva versión actualiza el análisis de la cartera de iniciativas estratégicas y extiende su horizonte de evaluación hasta el año 2050. Ambos estudios tienen la particularidad de evaluar el estado de cada una de las iniciativas, analizando si estas se llevaron a cabo, cuales se mantienen vigentes y cuales serían idóneas de incorporar de acuerdo a la realidad actual de la cuenca, con un enfoque en la regulación hídrica, evacuación de aguas lluvias, protección de cauces y control aluvional.

Este tipo de estudios permiten ordenar, evaluar y priorizar la cartera de iniciativas que muchas veces son propuestas por distintas instituciones, las cuales no siempre se llevan a cabo. Además permite incorporar nuevas iniciativas que incorporen la incertidumbre de los escenarios hidrológicos futuros que provoca el cambio climático, los avances y los nuevos requerimientos ambientales.

### Cómo se desarrolló

El estudio parte en el año 2020 con el levantamiento de antecedentes e información específica sobre los recursos hídricos (oferta, demanda e iniciativas) en todas las cuencas iniciativas identificadas en el documento de base para Plan de Inversiones en Infraestructura Hídrica Versión 2019, el cual será un input para una posterior etapa que permita desarrollar modelos simplificados por cuenca, que permitan efectuar una evaluación hídrica y económica de las iniciativas, además proponer y evaluar diversas iniciativas adicionales, todo eso para solo tres cuencas pilotos.

A partir de la base de iniciativas del Plan versión 2019 se recopiló información de diferentes fuentes, principalmente de los planes Directores y Maestros de cada cuenca y región, respectivamente. Se incluyeron también iniciativas presentadas en estudios de cuencas específicas, realizados principalmente por la Dirección General de Aguas (DGA) y la Comisión Nacional de Riego (CNR). Cada una de estas iniciativas cuenta con información específica del proyecto

y su historia: cuántas veces la iniciativa ha sido presentada, monto de inversión y duración de sus etapas, indicadores sociales (TIR, VAN), localización, número de beneficiarios, etc.

Paralelamente se realiza una recopilación de la información de la demanda y la estimación de la curva de caudal de oferta medio anual respecto a la probabilidad de excedencia. Finalmente ambos datos se cruzan con la cartera de iniciativas de cada cuenca, obteniendo así un análisis de la infraestructura con sentido hídrico.

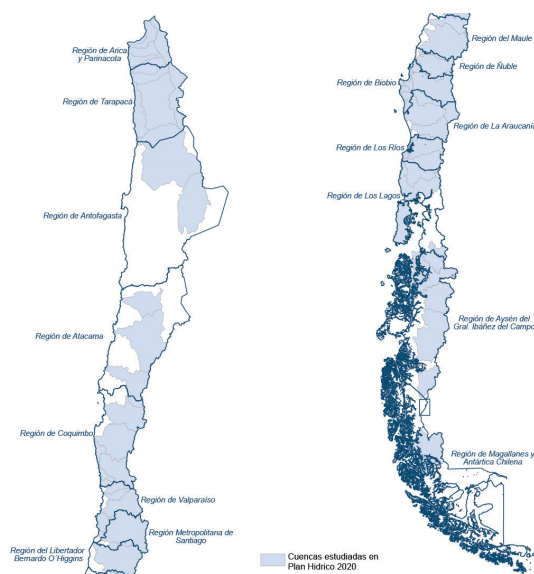
## Elementos innovadores del estudio

Para la obtención de la información de la oferta y demanda de cada una de las 52 cuencas a distintas probabilidades de excedencia, se requirió no solo de la extracción de estos valores desde informes publicados por la Dirección General de Aguas, sino también del análisis de las estaciones fluviométricas emplazadas en distintos puntos de la cuenca. A partir de rutinas programadas en Python, se pudo obtener de manera rápida y sistematizada la extensión y calidad de datos, curva de variación estacional, correlación entre estaciones y la curva de duración de caudales; todo esto para caudales medios mensuales y diarios de las estaciones fluviométricas pertenecientes a la Dirección General de Aguas.

Este análisis no solo permitió obtener información en cuencas donde no existen estudios hidrológicos, si no también contrastar los datos obtenidos de informes donde sí existe información disponible.

## Aporte del estudio, resultados o conclusiones

El estudio permitió categorizar las principales iniciativas las cuales serán consideradas para la siguiente etapa de la construcción del modelo hidrológico - económico simplificado. La recopilación de información acerca de las características de iniciativas en cada cuenca y el análisis de oferta y demanda, constituye un insumo fundamental para disponer de los elementos que permiten interpretar el sentido hídrico de las iniciativas existentes y por otra parte lugar para la selección de cuencas a modelar, en las que con esta información analizada se dispone de los órdenes de magnitud de los parámetros a incorporar en dichos modelos.



Cuenclas estudiadas en el Plan Hídrico 2020.

## Plan de Infraestructura Hídrica 2021 (Etapa 2)

### Interregional

The second phase of this consultancy aims to formulate a simplified operational water modelling tool that contributes to the subsequent hydro-economic evaluation of initiatives in three basins of the national territory. In particular, the Aconcagua, Choapa and Huasco basins have been modelled, considering different supply, demand and infrastructure scenarios, on the background of water models validated by the Ministry of Public Works.

### Desafío o problema a resolver

Actualmente Chile enfrenta problemas serios de escasez hídrica en la zona norte y centro sur, lo cual es especialmente grave debido a que en dicho sector del país se concentra la mayor cantidad de población, en conjunto con el mayor número de actividades económicas del país. Esta situación impone una restricción estructural al desarrollo de la zona en particular, y del país en general. El desafío es analizar hidro-económicamente cuencas críticas, es decir, con problemas hídricos o de infraestructura, en las cuales sea posible modelar diferentes escenarios hídricos (con o sin cambio climático), incluyendo también diversas iniciativas levantadas desde diferentes instituciones estatales relacionadas con el manejo de recursos hídricos (DOH, DGA, DIRPLAN y CNR).

### Relevancia del proyecto para el país

La generación de esta herramienta de modelación hídrica simplificada, que fue llamada "PyMOS", optimiza la toma de decisiones respecto a las inversiones en infraestructura y en gestión hídrica, considera la incertidumbre de los escenarios hidrológicos futuros provocada por el cambio climático, los avances tecnológicos y los nuevos requerimientos ambientales. Esta herramienta hidrológico operacional, junto con el módulo económico, es lo suficientemente flexible como para que usuarios/as que no tengan conocimientos de programas específicos puedan utilizarlo como herramienta de gestión hídrica.

### Cómo se desarrolló

La herramienta de modelación hídrica simplificada se desarrolló para tres cuencas de la zona norte y centro del país (Aconcagua, Choapa y Huasco), las cuales cuentan con modelos hídricos anteriores e información base para la construcción de PyMOS. Este modelo se basa en el lenguaje de programación Python3 implementada fundamentalmente en el modelo MOS (Modelo de Operación del Sistema), en el cual se añaden elementos tipológicos propios de cada cuenca, así como características hidrológicas, tales como: precipitación, demandas, embalses, canales, pozos, acuíferos y sectores de riego. Para cada uno de estos tres PyMOS se evaluaron diferentes configuraciones (iniciativas tales como embalses y tecnificación en el riego) para diferentes escenarios de cambio climático, definidos hasta el año 2050.

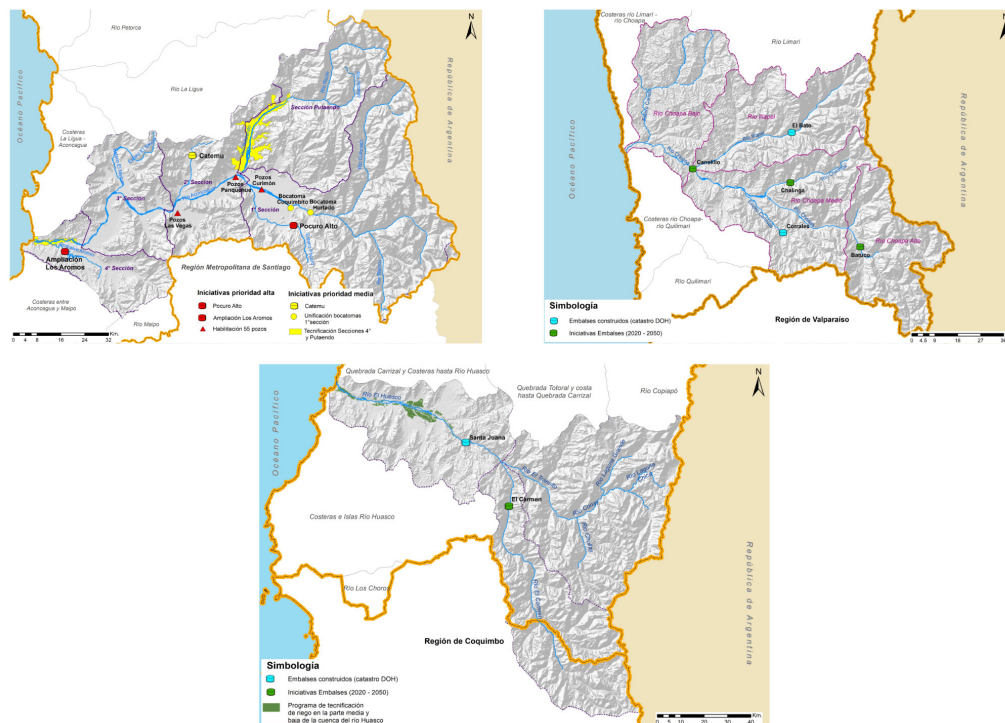


## Elementos innovadores del estudio

El desarrollo del modelo con una filosofía de código abierto permite que este sea modificado y adaptado a distintas cuencas del país, lo que entrega mayor flexibilidad ante la necesidad de representar alguna condición hídrica específica. El modelo PyMOS permite realizar el análisis integral de una cuenca, así como evaluar las potenciales interacciones entre obras. Por otro lado, los datos de entrada son fácilmente editables, lo que permite incorporar o retirar iniciativas, así como cambiar características en sectores de riego, acuíferos, embalses, etc. Con todo, realizar el análisis de distintas configuraciones es rápido y manejable para todo usuario/a.

## Aporte del estudio, resultados o conclusiones

La herramienta desarrollada ofrece grandes oportunidades a futuro debido a su flexibilidad, y a la posibilidad de ser modificada de acuerdo a requerimientos específicos. Por otro lado, PyMOS puede ser aplicado a diversas cuencas del país y operado de forma rápida, lo cual sugiere que su aplicación puede ser de gran utilidad ante la necesidad de evaluar en forma preliminar diferentes proyectos de interés. A la vez, es necesario contar con una información base para la adaptación del código PyMOS a una nueva cuenca, lo cual se debe realizar acorde a los Planes Directores para la Gestión de los Recursos Hídricos y Planes Estratégicos de Gestión Hídrica; que permitan caracterizar la cuenca para la toma de decisión respecto de la conveniencia de cada obra.



Embalses construidos e iniciativas incorporadas en modelos PyMOS Aconcagua, Choapa y Huasco.

## Modelo numérico canal de Chacao

### Región de Los Lagos

The construction of the Chacao Canal bridge considers the provisional use of some platforms at the north of the bridge, these platforms are mounted on a series of piles, where a work space is generated that allows the construction of the Chacao bridge. Currently, it is being evaluated to maintain these platforms once the construction of the bridge is finished, which could reduce costs and maintain certain infrastructures for alternative uses such as maintenance and monitoring. Considering the above, a preliminary analysis has been requested from the Instituto Nacional de Hidráulica (INH) to study the effects of maintaining the piles used in the construction over the hydrodynamics generated in the bridge piers.

### Desafío o problema a resolver

Se debe estimar el posible efecto de las pilas provisionarias utilizadas para la construcción del puente respecto la Pila Norte y Pila Central, verificando que no se produzcan efectos adversos como lo pueden ser aumentos de velocidad importantes en la circulación o una mayor socavación en las pilas.

### Relevancia del proyecto para el país

Permite estudiar la seguridad del Puente de Chacao al mantener las pilas que se utilizarán para su construcción, a la vez de verificar que no se producirán efectos de importancia sobre la Pila Norte y Pila Central. En caso de no producirse efectos importantes, será posible utilizar la plataforma provisionaria para la mantención y otras labores del Puente de Chacao.

### Cómo se desarrolló

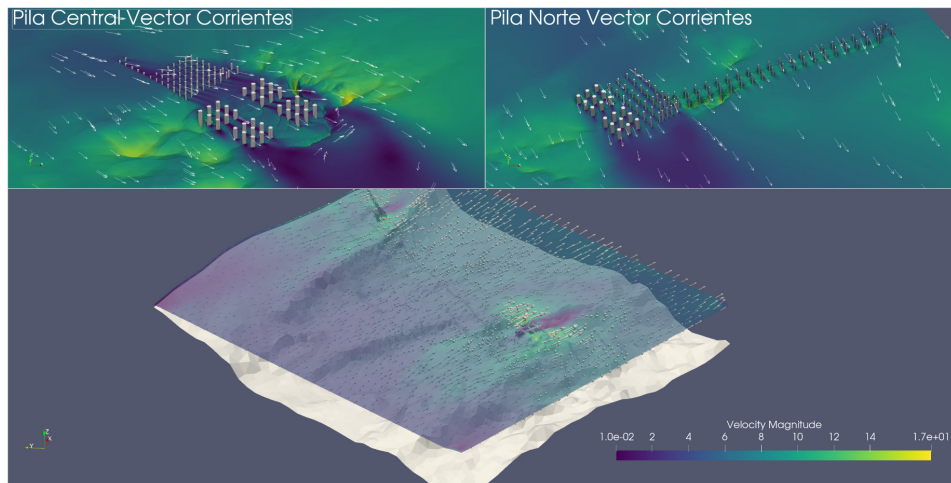
Este estudio corresponde a una modelación numérica en Telemac 2d, este corresponde un modelo bidimensional, promediado en la vertical, el cual se utiliza para estimar la hidrodinámica en las pilas y zona de estudio. Como condiciones de borde se utilizan las mareas obtenidas desde un modelo regional realizado en conjunto con la Universidad de Chile. El área del modelo numérico es de aproximadamente 3 km aguas abajo y aguas arriba de la ubicación de las pilas a fin de que las condiciones de borde logren desarrollarse de manera correcta dentro del dominio a resolver.

### Elementos innovadores del estudio

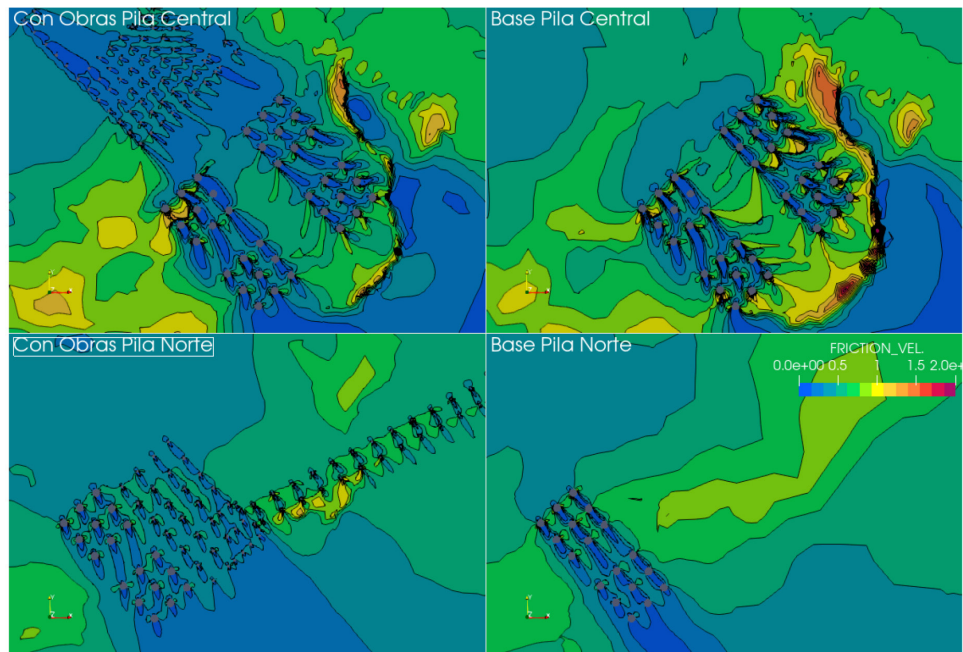
Se permite estimar los efectos de estas obras provisionarias que se utilizan en la construcción del Puente de Chacao, para ello se utiliza un modelo de mareas regional y sus resultados son llevados a la zona de interés del presente proyecto.

## Aporte del estudio, resultados o conclusiones

Con los resultados obtenidos, se estima que es posible utilizar las pilas como plataforma para su uso en la operación del puente de Chacao.



Resultados velocidad de corriente en modelo numérico.



Resultados de velocidad instantánea con y sin obras (provisorias) para construcción puente Chacao.

## Modelación numérica relaves

### Región de Atacama

A 2D numerical model has been made in TELEMAC-2D software to analyze some new works projected in the Pampa Austral Tailings Dam. This dam receives all the tailings from the "El Salvador" division of CODELCO. The results allow determining the levels of the free surface, for different modeling scenarios, concluding that the dam walls are not exceeded. This study has made it possible to provide greater safety in the operation of large-scale hydraulic works, such as tailings dams of a large mining company.

### Desafío o problema a resolver

El Depósito de Relaves Pampa Austral (DRPA) está ubicado a 15 km al norte de Diego de Almagro en la provincia de Chañaral, Región de Atacama. Este depósito recibe la totalidad de producción de relaves de la División El Salvador de CODELCO desde abril de 1990, y se proyectan nuevas obras para asegurar el funcionamiento futuro debido a la posible entrada en operación del proyecto Rajo Inca. En este contexto, el desafío a resolver es analizar la seguridad de las obras proyectadas del DRPA ante un evento hidrológico extremo, analizando el tránsito de una Crecida Máxima Probable (CMP) a través de un modelo numérico 2D.

### Relevancia del proyecto para el país

Los eventos hidrológicos extremos son cada vez más frecuentes a raíz del fenómeno de cambio climático que nos afecta en la actualidad, tanto a Chile como al mundo entero. En este sentido, es esencial que las obras hidráulicas respondan con seguridad y efectividad ante posibles eventos extremos. El proyecto desarrollado es relevante porque aporta seguridad al funcionamiento de las obras proyectadas en el Depósito de Relaves Pampa Austral, ya que las fallas de este tipo de obras pueden ocasionar terribles consecuencias para las localidades cercanas.

### Cómo se desarrolló

Para analizar el tránsito de una crecida máxima probable en el Depósito de Relaves Pampa Austral se implementó un modelo numérico en el software libre TELEMAC-2D. Se evaluaron cuatro (4) escenarios de modelación utilizando el mismo dominio, el cual contiene el interior del DRPA e incluye un tramo del vertedero de evacuación de aproximadamente 800 metros, completando un dominio de modelación con extensiones de 6.8 x 6.2 kilómetros.

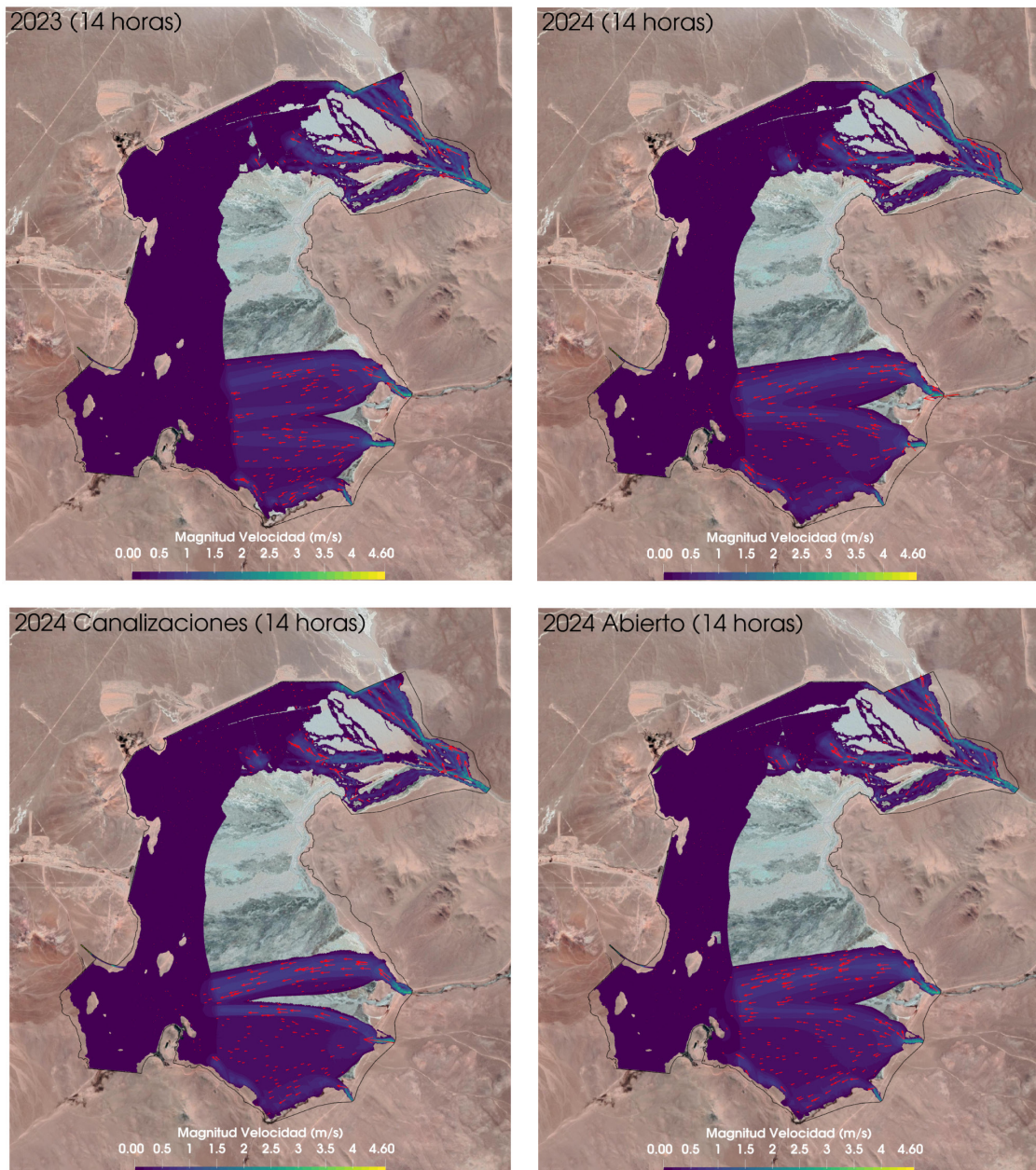
### Elementos innovadores del estudio

La principal innovación del proyecto es la utilización de herramientas de modelación numérica avanzada mediante el uso de un software con escasa bibliografía como el TELEMAC-2D.



## Aporte del estudio, resultados o conclusiones

El estudio permitió contribuir en el conocimiento en el comportamiento y aspecto de seguridad del funcionamiento de las obras ante un posible evento hidrológico extremo.



Vista en planta de la zona inundada y campo de velocidad a las 14 horas para los distintos escenarios considerados.



## PRINCIPALES CLIENTES



## CONVENIOS





Comité editorial:  
Scarlett Vásquez Paulus  
Verónica Meneses Fredes  
Camila Osorio Nilo

Diagramación y diseño  
Missael Godoy Jara

En este reporte ha colaborado todo el equipo del INH.  
Todo el contenido, fotos y material gráfico es propiedad de INH.  
Diciembre 2021.

Contacto Dirección ejecutiva  
Nataniel Cox 31, Oficina 36, Santiago  
+56 227824102

Laboratorio hidráulico  
Concordia 620, Peñaflor +59 227824100

[www.inh.cl](http://www.inh.cl)

