

2021

advección

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

turbulencia

difusión

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C \vec{V}) = \Delta C$$

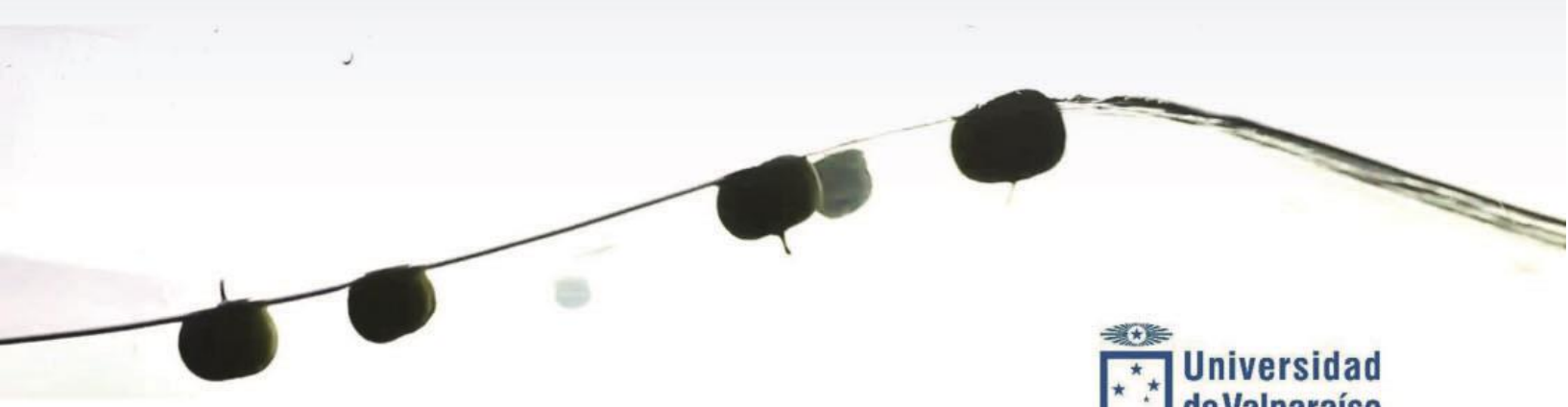
hidrodinámica

**LABOCEANO**

LABORATORIO DE PROCESOS COSTEROS

Escuela de Ingeniería Civil Oceánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de Valparaíso

<https://ingenieriaoceanica.uv.cl/laboceano>



# **LABOCEANO**

## LABORATORIO DE PROCESOS COSTEROS

**Escuela de Ingeniería Civil Oceánica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de Valparaíso**

Av. Brasil 1786, Of. 22, Valparaíso  
<https://ingenieriaoceanica.uv.cl/laboceano>

## CONTENIDOS

---

<b>1</b>	<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>LABORATORIO DE MODELACIÓN NUMÉRICA</b> .....	<b>5</b>
2.1	MODELOS HIDRODINAMICOS.....	7
2.2	MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES .....	8
2.3	MODELOS MORFODINAMICOS .....	9
2.4	MODELOS DE OLEAJE.....	10
2.5	UTILITARIOS DE INGENIERÍA OCEÁNICA.....	13
2.6	MODELOS ESTRUCTURALES.....	14
2.7	MODELOS DE SIMULACIÓN LOGÍSTICA.....	15
2.8	UTILITARIOS PARA USO GENERAL .....	15
<b>3</b>	<b>LABORATORIO DE MODELACIÓN FÍSICA</b> .....	<b>16</b>
3.1	CANAL DE OLEAJE .....	16
3.2	CANAL DE CORRIENTES .....	18
3.3	EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	19
<b>4</b>	<b>VISITAS TÉCNICAS</b> .....	<b>26</b>
4.1	UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE .....	26
4.2	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE DELFT, PAÍSES BAJOS.....	26
4.3	SEATECH ÉCOLE D'INGÉNIEURS, UNIVERSIDAD DE TOULON, FRANCIA .....	27
4.4	W.A.T.E.R. 2018 AT VLIZ, OSTENDE BÉLGICA. ....	28
<b>5</b>	<b>PROYECTOS</b> .....	<b>29</b>
5.1	BANCO DE PROYECTOS INTERNOS UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO .....	29
5.2	ESTUDIO EN MODELO FÍSICO DE VERTIDOS DE CARBÓN Y OTROS TRAZADORES .....	29
5.3	ESCALA DE IMPACTO DE MAREJADAS PARA LA DISMINUCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE.....	30
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>32</b>

# 1 PRESENTACIÓN

La Escuela de Ingeniería Civil Oceánica, desde su origen ha perseguido la difusión y generación de conocimientos sobre la física del océano y su interacción en las zonas costeras. Los múltiples procesos hidrodinámicos que ocurren en el océano, así como los fenómenos que configuran la morfodinámica costera, han sido abordados por nuestra Escuela mediante el uso de modelos numéricos, los cuales permiten estimar con alto grado de confianza los complejos fenómenos oceánicos.

El laboratorio de modelación numérica de la escuela ha funcionado desde el año 2006 en delante de manera continua, fundamentalmente centrado en el desarrollo de tesis de pregrado. Si bien las estimaciones realizadas mediante este tipo de estudios pueden llegar a representar de buena forma los procesos mencionados, es de vital importancia tanto para la formación académica de los estudiantes como para las investigaciones que se realicen en la escuela, disponer de la capacidad de complementar el estudio del océano con modelos físicos, que permiten visualizar los resultados obtenidos en las modelaciones numéricas. Por estas razones, y muy especialmente por motivos de docencia para complementar la formación de los estudiantes de pregrado, se postuló a fondos internos concursables de la UV para poder desarrollar el laboratorio de modelación física.

En 2013 comenzó la construcción del laboratorio de modelación física, con el objetivo de estudiar los procesos que se generan en aguas profundas como también en la costa. Complementariamente, se incluyó la construcción de sistemas experimentales para el estudio de flujos en escurrimiento libre, materia que también es parte de la formación hidráulica de las y los estudiantes de Ingeniería Civil Oceánica.

En esta memoria se presenta parte de los trabajos desarrollados en las líneas de modelación numérica y física, con énfasis en el desarrollo del canal de olas, que se inauguró en octubre de 2018.

Cordialmente,

**El equipo de Ingeniería Civil Oceánica**  
Universidad de Valparaíso

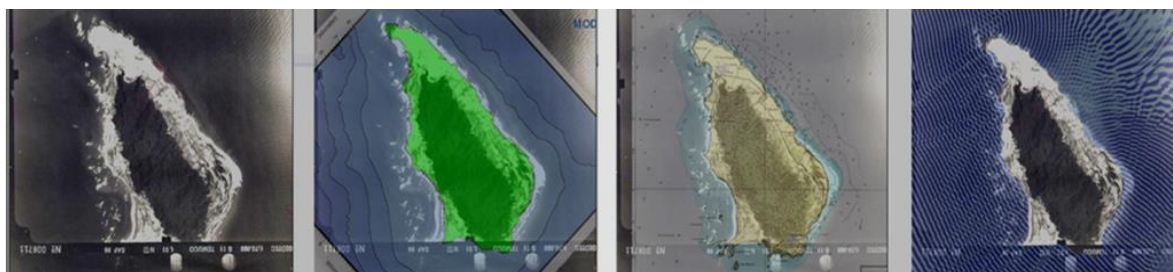
## 2 LABORATORIO DE MODELACIÓN NUMÉRICA

El laboratorio de modelación numérica de Ingeniería Marítima (**Labocéano**) está orientado a proporcionar herramientas numéricas como apoyo para el mejoramiento de la calidad de la formación de los alumnos y el enriquecimiento de nuestra comunidad académica. Su puesta en marcha a comienzos del 2006 introdujo a los memoristas en la aplicación de software especializado de uso común en el ámbito marítimo. **Labocéano** tiene por objetivo abrir y consolidar nuevas líneas de investigación y el desarrollo de memorias de titulación, además de utilizarse como soporte para proyectos de asistencia técnica o de investigación. Actualmente, el modelado numérico en la ingeniería marítima es efectuado por consultoras con importante participación extranjera y por instituciones públicas como la Dirección de Obras Portuarias o el Instituto Nacional de Hidráulica. De momento, gran parte de estos sistemas no están disponibles en otras unidades académicas del país, no obstante son ampliamente difundidos en escuelas extranjeras de prestigio. Sin embargo, al igual que en otros ámbitos de la ingeniería civil, se evidencia una notoria tendencia en la adquisición e implementación de este tipo de sistemas.

Los modelos disponibles en **Labocéano** han sido adquiridos para su aplicación en el ámbito académico y están orientados a la modelación de diversas aplicaciones de oleaje y corrientes oceánicas, dispersión de contaminantes, morfodinámica litoral, agitación en puertos, análisis y diseño de estructuras marinas, entre otras aplicaciones. En los últimos años la Escuela ha alentado el uso de software libre, para minimizar la dependencia de licencias comerciales. Para efectos de este documento, los softwares se han agrupado en los siguientes tipos:

- **Utilitarios de ingeniería oceánica**
- **Modelos hidrodinámicos**
- **Modelos de dispersión de contaminantes**
- **Modelos morfodinámicos**
- **Modelos de oleaje**
- **Modelos estructurales**
- **Modelos de simulación logística**
- **Utilitarios para uso general**

El detalle de las aplicaciones comúnmente utilizadas en la Escuela se presenta en la tabla 1. Se cuenta además con licencia corporativa de Windows 7, Office 2007 y 2003 y otras herramientas utilizadas en ingeniería oceánica como Google Earth, Google Sketchup, Xwave y Wrplot, entre otras, que no se incluyen en este documento.



**Tabla 1: Detalle de los sistemas y módulos con las respectivas aplicaciones.**

<b>APLICACIÓN</b>	<b>SMC</b>	<b>MIKE 21</b>	<b>USACE</b>	<b>CEM</b>	<b>CRESS</b>	<b>OTROS</b>
<b>UTILITARIOS EN INGENIERÍA OCEANICA</b>						
Preproceso y postproceso	BACO	MIKE ZERO				MATLAB
Procesamiento de oleaje	TIC	MIKE21 TB	ACES	CEM	CRESS	MATLAB
Procesamiento de mareas	TIC	MIKE21 TB	ACES		CRESS	TTIDE
Diseño de estructuras marinas	TIC		ACES	CEM	CRESS	
<b>MODELOS HIDRODINÁMICOS</b>						
Corrientes (2DH)	COPLA		RMA2			ADCIRC
Corrientes (3D)			RMA10			
Inundación costera	ATLAS					
<b>MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES</b>						
Dispersión de contaminantes (2DH)			RMA4			GNOME
Dispersión de contaminantes (3D)			RMA11			
<b>MODELOS MORFODINÁMICOS</b>						
Transporte litoral de sedimentos (2DH)						
Morfodinámica litoral en corto plazo (2DH)	MOPLA		GENESIS			
Morfodinámica litoral en corto plazo (2DV)	PETRA		SBEACH			
<b>MODELOS DE OLAJE</b>						
Generación de oleaje (2DH)						WAVEWATCH
Propagación de oleaje regular (2DH)	OLUCA-MC					
Propagación de oleaje irregular (2DH)	OLUCA-SP		STWAVE			SWAN
Agitación en puertos (2DH)		MIKE21 BW	CGWAVE			
<b>MODELOS ESTRUCTURALES</b>						
Análisis y diseño estructural						SAP
<b>MODELOS DE SIMULACIÓN LOGÍSTICA</b>						
Simulación de eventos discretos						PROMODEL
<b>UTILITARIOS PARA USO GENERAL</b>						
Programación						MATLAB
Pre y postproceso de topo-batimetría						SURFER 8
Dibujo técnico						AUTOCAD

## 2.1 MODELOS HIDRODINAMICOS

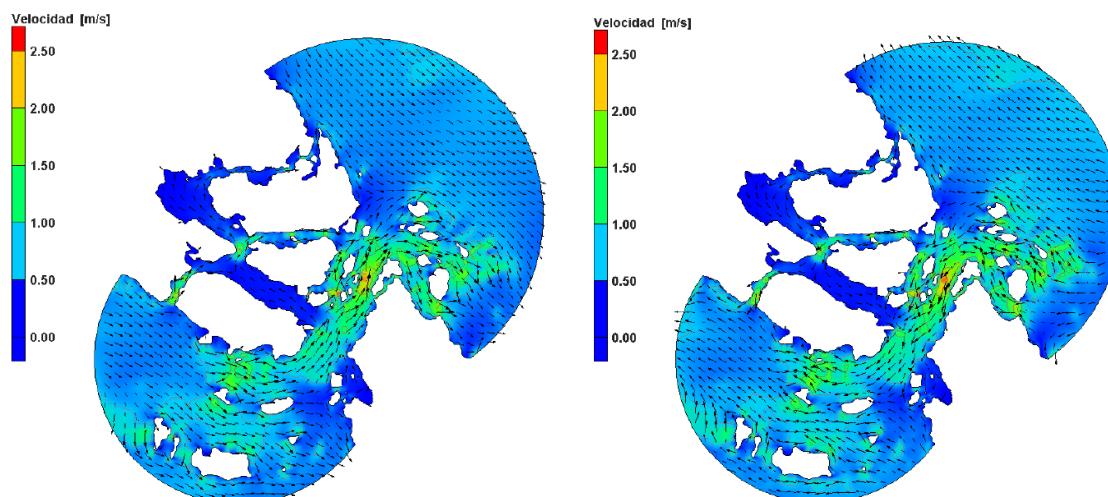
### ADCIRC: ADvanced CIRCulation model for oceanic, coastal and estuarine waters

#### Modelo hidrodinámico (de corrientes) 2D

Es un modelo hidrodinámico de elementos finitos para océanos, costas, ensenadas, ríos y llanuras de inundación. ADCIRC es un sistema de programas computacionales para resolver, dependiente del tiempo, la circulación de superficie libre y los problemas de transporte en dos y tres dimensiones. Estos programas utilizan el método de elementos finitos en el espacio que permiten el uso de redes no estructuradas y altamente flexibles. Las aplicaciones típicas de ADCIRC incluyen: el modelado de mareas y circulaciones impulsadas por viento, análisis del aumento de tormentas de huracán y de inundaciones, estudios de viabilidad de dragado y de la disposición de materiales, estudios de transporte de larvas y operaciones marinas cercanas a la costa.

#### Modelación hidrodinámico ADCIRC en Melinka, X Región (García y Winckler).

Autor: Rolando García. Profesor Guía: Winckler (ADCIRC)



### RMA2: Resource Management Associates

#### Modelo hidrodinámico (de corrientes) 2D

Es un modelo hidrodinámico en elementos finitos en 2 dimensiones promediado en la vertical. Calcula elevación de superficie libre y velocidades horizontales para flujo subcrítico en el campo de flujos bidimensionales estacionarios y no estacionarios. El modelo ha sido utilizado para el cálculo de niveles de superficie libre y distribución del flujo alrededor de islas, en canales de entrada y salida de plantas de energía hidráulicas, confluencias de ríos y, en general, en cualquier flujo de canales, ríos y estuarios. Su limitación principal es que asume hidroestaticidad por lo que las aceleraciones verticales deben ser despreciables en el problema a modelar. Sólo es capaz de modelar problemas en dos dimensiones.

## RMA10: Resource Management Associates

### Modelo hidrodinámico (de corrientes) 3D

Es un modelo hidrodinámico en elementos finitos en 3 dimensiones. La consideración de la componente vertical lo hace ideal para simular casos en que las velocidades verticales se vuelven significativas o la estratificación por densidad se presenta de manera importante. Describe presión y velocidad en 3D resolviendo ecuaciones de Navier-Stokes, continuidad, advección-difusión y una ecuación de estado que relaciona salinidad, temperatura y sedimento suspendido. Se representan también las fuerzas de Coriolis, de fricción y de tensión del viento e incluye, además, la opción de trabajar con un modelo de viscosidad turbulenta en lugar de un coeficiente constante.

## 2.2 MODELOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

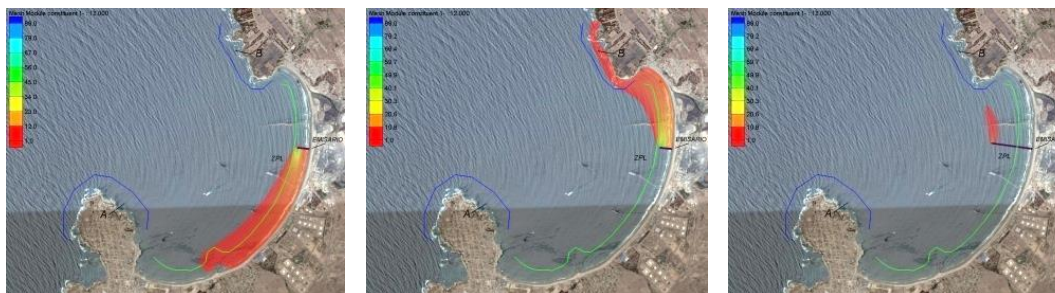
### GNOME

#### Modelo de dispersión de contaminantes 2D

Es un modelo que permite estimar la trayectoria de los derrames al procesar la información de vientos, clima, circulación y derrame. GNOME permite estimar si la mancha de hidrocarburo llega a tierra, en cuánto tiempo, y a qué distancia del punto de partida.

#### Modelación de dispersión de contaminantes en Quintero, V Región.

Autor: Alejandro Olivares. Profesor Guía: Patricio Winckler (RMA2)



## RMA4: Resource Management Associates

### Modelo de dispersión de contaminantes 2D

Es un modelo de elementos finitos para análisis de calidad del agua. Se utiliza para modelar la dispersión de material en 1 y 2 dimensiones, promediando en la vertical. Tiene como entrada la geometría y los resultados provenientes del modelo RMA2. RMA4 resuelve las ecuaciones constituyentes de transporte de advección-difusión y puede modelar el comportamiento de hasta 6 constituyentes independientes. El propósito principal de este modelo es investigar los procesos físicos que son responsables de la dispersión de contaminantes en el medio y, además, testear los resultados de las posibles medidas de



control. Sus limitaciones son básicamente las mismas que las del modelo RMA2, quedando su precisión dependiente de los resultados del modelo hidrodinámico.

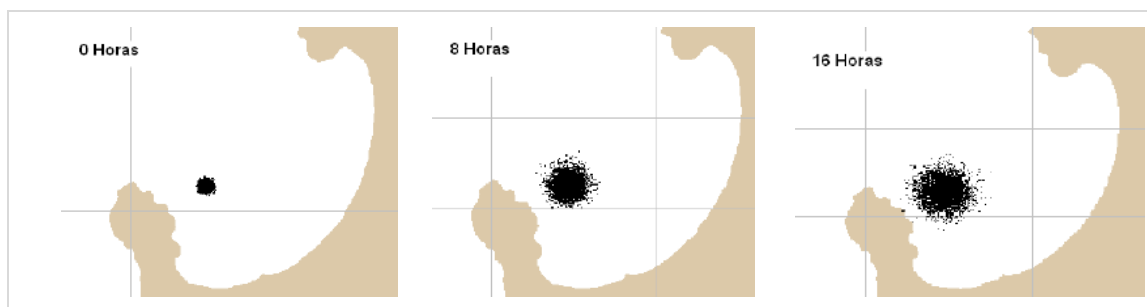
## RMA11: Resource Management Associates

### Modelo de dispersión de contaminantes 3D

Es un modelo en elementos finitos para estudiar la dispersión de sedimentos. Simula en 1D, 2D ó 3D, estuarios, bahías, lagos y ríos. Está diseñado para aceptar datos de entrada de velocidad y profundidad de los resultados de los modelos hidrodinámicos en 2D ó 3D (estratificado). Los datos hidrodinámicos de entrada son usados en la solución de las ecuaciones constituyentes de transporte de advección-difusión. El modelo permite estudiar la dinámica de los sedimentos cohesivos simulando los procesos de sedimentación, deposición y erosión. Estos sedimentos se dividen en dos capas. Una capa de sedimento de fondo por sobre el fondo sólido definido por batimetría, que constituye la capa erosionable y una capa de sedimento en suspensión. La simulación del transporte del sedimento se realiza resolviendo las ecuaciones de advección-difusión en la misma malla definida para el modelo hidrodinámico.

#### Modelación de advección pura en Quintero, V Región.

Autor: Pablo Moreno. Profesor Guía: Patricio Winckler (RMA2)



## 2.3 MODELOS MORFODINAMICOS

### SMC: Sistema de Modelado Costero

#### Modelo de oleaje, corrientes y transporte de sedimentos 2D en corto y largo plazo

El Sistema de Modelado Costero es una herramienta que permite estudiar los procesos costeros y valorar las variaciones que sufre una playa debido a eventos naturales o actuaciones humanas en la costa. Con el SMC se llevan a cabo estudios de casos reales de proyectos de ingeniería de costas, permitiendo el análisis de actuaciones en las diferentes etapas de un estudio: diagnóstico, prediseño, diseño e impacto ambiental. El SMC es una interfaz gráfica que integra una serie de modelos numéricos y se compone de cuatro módulos: módulo de pre-proceso, módulo de corto plazo, módulo de medio y largo plazo, y módulo de renovación del terreno.

## GENESIS: GENERALized Model for Simulating Shoreline Change

### Morfodinámica litoral en corto plazo (2DH)

Modelo diseñado para simular los cambios de línea de costa en el largo plazo, con resultados de transporte longitudinal de sedimentos a escala espacial y temporal.

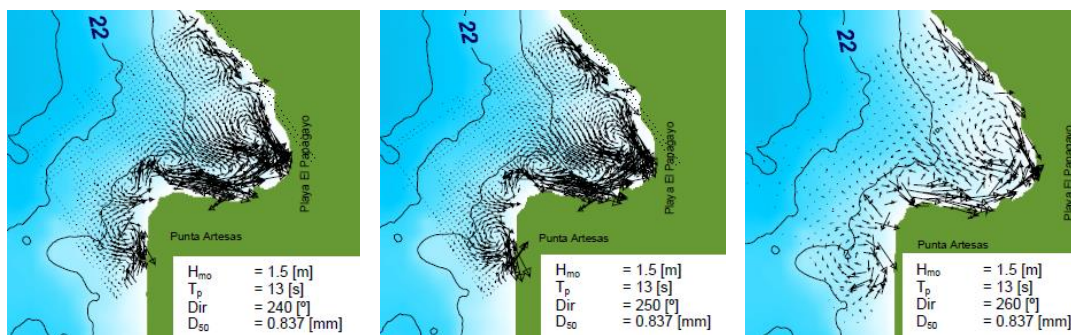
## SBEACH: Storm-induced BEACH Change Model

### Morfodinámica litoral en corto plazo (2DV)

Es un modelo morfodinámico que permite simular la evolución del perfil de playa en el corto plazo. Simula la formación de barras y erosión de playas producidas por tormentas para diferentes niveles del mar, incluyendo la posibilidad de incorporar estructuras impermeables.

### Modelación de corrientes litorales en Quintero, V Región.

Autor: Maifías Quezada. Profesor Guía: Winckler



## 2.4 MODELOS DE OLAJE

### WAVEWATCH III

#### Modelo de generación y propagación de oleaje

El modelo WAVEWATCH III (Tolman, 2014) es un modelo de base física de generación y propagación de oleaje de tercera generación, desarrollado por la Marine Modeling and Analysis Branch (MMAB) de la National Center for Environmental Prediction (NCEP). El modelo resuelve la ecuación de balance de densidad de acción de oleaje, aplicada a un espectro definido en el espacio, el tiempo, el número de onda y la dirección.

## STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model

### Modelo de propagación de oleaje espectral

Es un modelo numérico de propagación que permite obtener estimaciones los parámetros del oleaje en zonas costeras, lagos y estuarios para diferentes condiciones de viento y corrientes sobre una batimetría irregular. Es un modelo espectral en fase promediada que modela los efectos de refracción, asomeramiento, difracción (mediante una aproximación numérica) y rompiente debida a la influencia del fondo. Permite simular espectros multidireccionales y oleaje irregular mediante espectros bidimensionales.

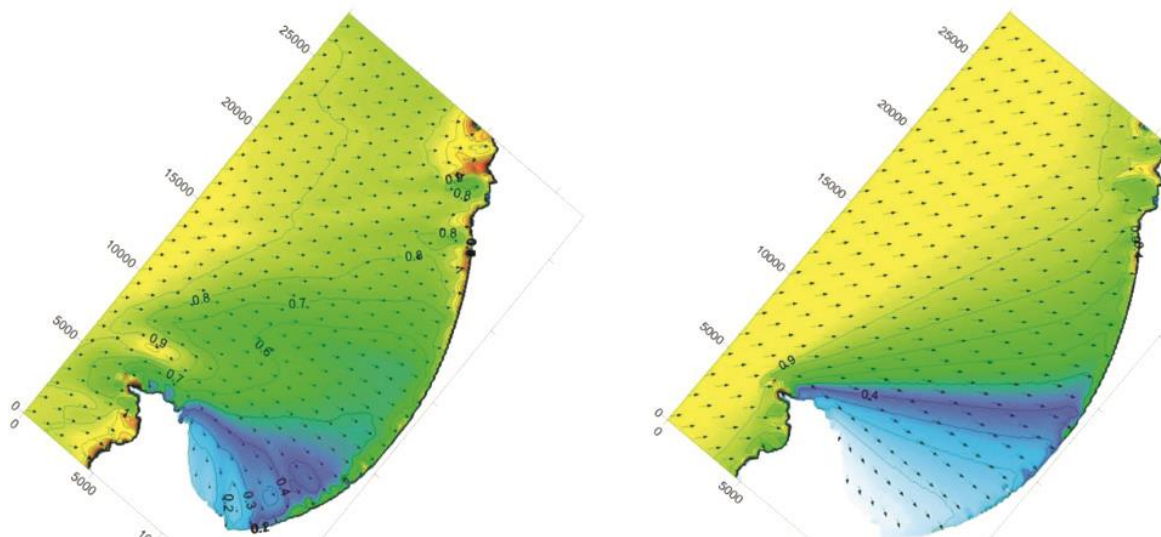
## SWAN: Simulating Waves Nearshore

### Modelo de propagación de oleaje espectral

Es un modelo numérico de propagación que permite obtener estimaciones los parámetros del oleaje en zonas costeras, lagos y estuarios para diferentes condiciones de viento y corrientes sobre una batimetría irregular. Es un modelo espectral en fase promediada que modela los efectos de refracción, asomeramiento, difracción, reflexión, interacción ola-ola, whitecapping, reflexión y rompiente debida a la influencia del fondo. Permite simular espectros multidireccionales y oleaje irregular mediante espectros bidimensionales y puede ser ejecutado en modo estacionario y no estacionario.

### Modelación de oleaje en una bahía del norte de Chile.

Autor: Ariel Gallardo, Ingeniero Civil Oceánico



## MIKE 21 BW: Boussinesq Wave model

### Modelo de agitación de oleaje

Es un modelo que basado en las ecuaciones de Boussinesq permite la solución en el tiempo para ondas que se propagan desde aguas profundas a someras. Este modelo es capaz de reproducir los efectos combinados de la mayoría de los fenómenos de interés a los que un sector costero puede verse afecto, como asomeramiento, refracción, difracción, reflexión, transmisión, dispersión en frecuencia y dirección, interacción lineal ola-ola, rotura, disipación de energía, fricción de fondo y movimiento de la línea de costa.

## IH2VOF: CFD model

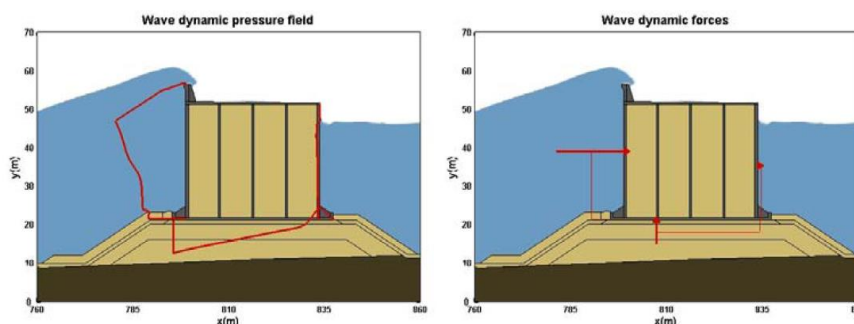
### Modelo de interacción entre flujo y estructura

El modelo numérico IH2VOF es un modelo desarrollado en el IHCantabria orientado al estudio de la interacción flujo-estructura, es decir, al estudio de la acción del oleaje sobre estructuras marítimas y la hidrodinámica en la zona de rompientes.

Entre las principales características del modelo destacan su capacidad para la simulación de todo tipo de estructuras marítimas a escala de prototipo o laboratorio. Además, proporciona el campo de velocidades, presiones y turbulencia en un dominio bidimensional en vertical. Como forzantes es capaz de simular oleaje regular, irregular, onda solitaria, entre otros. Los aspectos mencionados proporcionan al modelo IH2VOF una gran versatilidad, siendo capaz de simular dominios a escala de prototipo de hasta un kilómetro.

### 📌 Vistas referenciales de resultados obtenidos con IH2VOF en dique vertical y dique en talud.

Autor: IHCantabria<sup>1</sup>



<sup>1</sup> IHCantabria, IH2VOF sitio oficial. Disponible en: [<https://ih2vof.ihcantabria.com/>]

## 2.5 UTILITARIOS DE INGENIERÍA OCEÁNICA

### ACES: Automated Coastal Engineering Software

#### Utilitario de ingeniería marítima

Es un sistema integrado que permite el análisis y diseño de estructuras en el ámbito de la ingeniería costera y que contiene 6 módulos: wave prediction, wave theory, wave transformation, structural design, wave runup, and littoral processes.

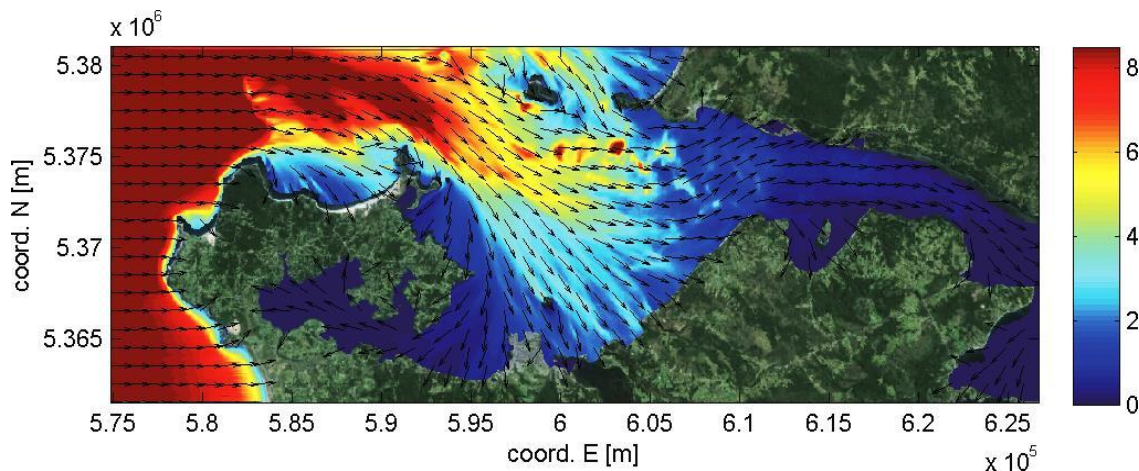
### CEM: Coastal Engineering Manual

#### Utilitario de ingeniería costera

El Manual proporciona un único documento técnico completo que incorpora las herramientas y procedimientos para planificar, diseñar, construir y mantener los proyectos costeros. Este manual de ingeniería incluye los principios básicos de los procesos costeros, los métodos para calcular la planificación costera y parámetros de diseño, y orientación sobre cómo formular y realizar estudios en apoyo de inundaciones costeras, protección de la costa, y proyectos de navegación. Nuevas secciones se suman al diseño navegación y puerto, dragado y depósito, reparación y rehabilitación de estructura, protección de costas húmedales y de baja energía, análisis de riesgos, instrumentación de campo, simulación numérica, el proceso de ingeniería, y otros temas.

#### 📌 Modelación de interacción oleaje y corriente en el Canal Chacao.

Autor: Mañas Alday, Académico de la EICO en la década 2010-2020



## CRESS: Coastal and River Engineering Support System

### Diseño y planificación de proyectos costeros y fluviales

Este programa se concibe como un apoyo para el diseño y planificación de proyectos costeros y fluviales y no pretende sustituir el juicio de un ingeniero calificado en un proyecto en particular. Ha sido desarrollado por el IHE, Delft, Países Bajos, principalmente para el uso en educación de ingenieros en costas y ríos. CRESS (Coastal and River Engineering Support System) es una colección de pequeñas rutinas, cada uno con una fórmula, o un grupo de fórmulas, importantes en la ingeniería de costas y ríos.

## 2.6 MODELOS ESTRUCTURALES

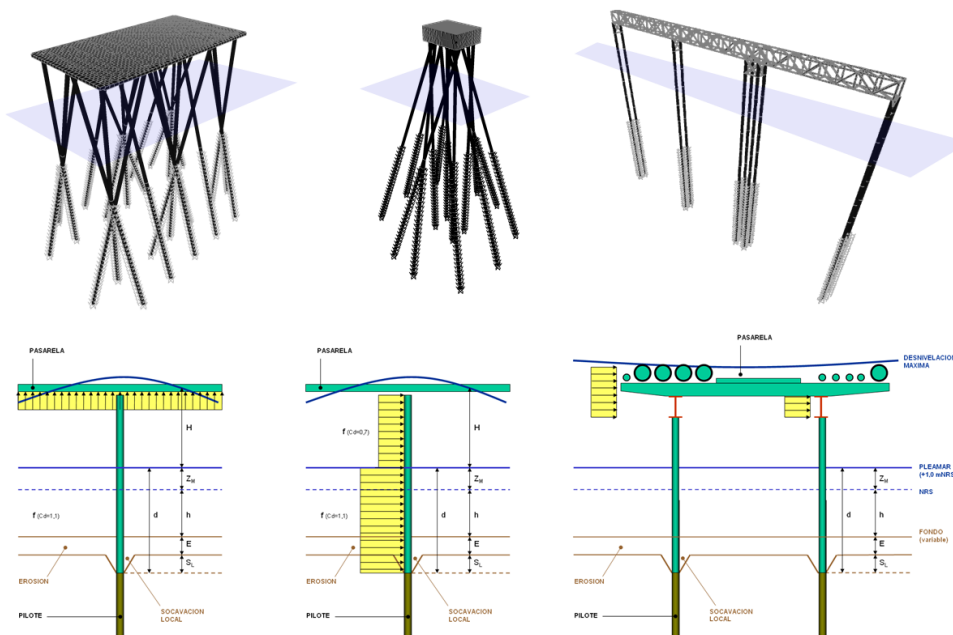
### SAP2000: Integrated Software For Structural Analysis & Design

#### Análisis y diseño estructural

Programa de ingeniería que permite analizar cualquier tipo de estructuras y diseñar elemento por elemento de manera precisa con los reglamentos más conocidos en cada país (ACI en USA, EUROCODIGO en Europa, y otros). Ofrece análisis estático y análisis dinámico modal espectral para elementos y placas. También diseña elementos de acero y hormigón.

#### Modelación de un muelle en la Bahía de Mejillones.

Autores: Ernesto Gómez (estructura) y Patricio Winckler (cargas), Académicos de la EICO (el primero en la década de 2000)



## 2.7 MODELOS DE SIMULACIÓN LOGÍSTICA

### PROMODEL

#### Análisis y diseño estructural

ProModel es un modelo de simulación de eventos discretos que se utiliza para planificar, diseñar y mejorar sistemas logísticos. Permite representar con precisión los procesos del mundo real, incluyendo la variabilidad e interdependencia inherentes entre variables, con el fin de realizar un análisis predictivo de los cambios en el sistema.

## 2.8 UTILITARIOS PARA USO GENERAL

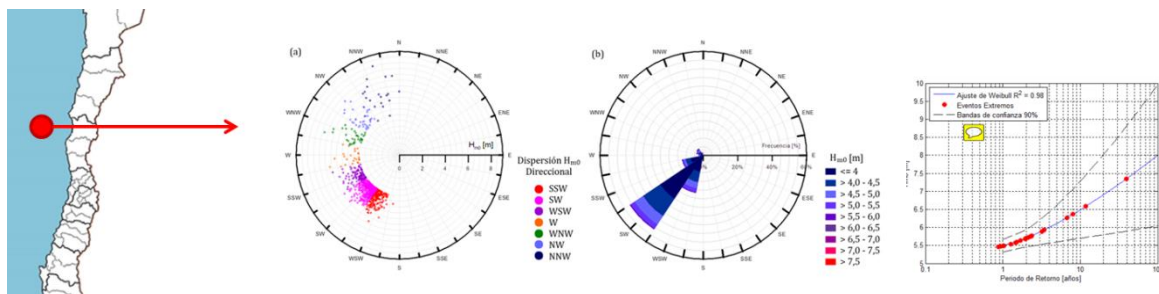
### SURFER 7

#### Modelado de superficie

Es un paquete de funciones 3D para el modelado de superficie. Surfer sobresale en la creación de curvas de nivel, vectores, imágenes y mapas en 3D de superficie. Varios mapas pueden ser superpuestos para identificar rápidamente tendencias en datos. Una hoja de cálculo de gran alcance ayuda a hacer más fácil la importación sus datos. Utilidades adicionales incluyen los cálculos de volumen, alisado, filtrado, cálculos matemáticos entre las superficies, entre otros.

#### 📌 Análisis de datos de oleaje frente a Valparaíso, V Región.

Autor: Andrés Repetto. Profesor Guía: Winckler. Ambos académicos de la EICO (el primero en la década de 2010)



### AUTOCAD

#### Diseño Asistido por Computador

Es un programa de diseño asistido por ordenador (CAD "ComputerAidedDesign") para dibujo en 2D y 3D, que facilita el trabajo con conjuntos de diseños y distintos grupos de trabajo que colaboran en un proyecto. Integra el visualizador Autodesk Design Web Format (DWF), una manera sencilla y económica de compartir información digital de diseño durante el ciclo de vida del proyecto.

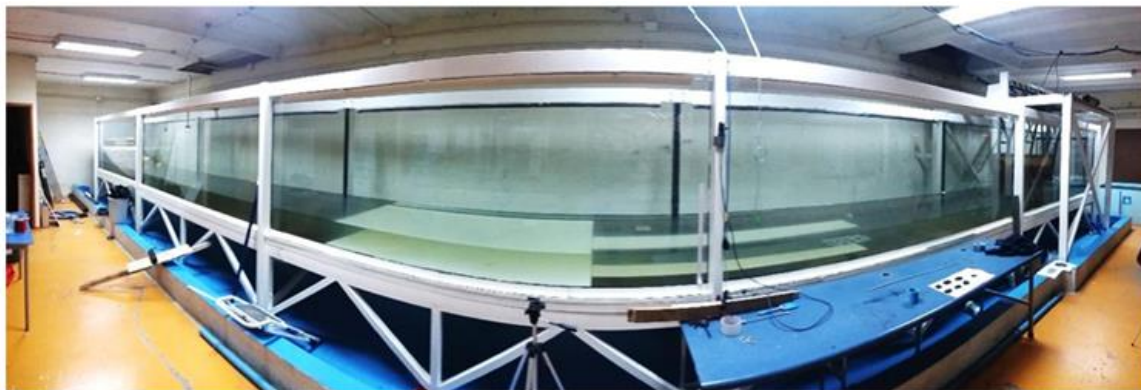
### 3 LABORATORIO DE MODELACIÓN FÍSICA

El año 2013 la UV adjudicó el proyecto BPI 1210 al Profesor Mauricio Reyes Gallardo, de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica. El proyecto ha permitido materializar el laboratorio de modelación física, denominado **LabOcéano**, que tiene por misión generar el acercamiento de los estudiantes a la hidráulica marítima y costera, como complemento a la formación teórica de sus mallas curriculares. El proyecto fue desarrollado íntegramente por académicos de la Escuela, Ingenieros Civiles Oceánicos, alumnos de las carreras y de otras universidades.

#### 3.1 CANAL DE OLEAJE

Este dispositivo, principal elemento del laboratorio, permite estudiar los diferentes procesos que sufre el oleaje a medida que se propaga a la costa. Sus dimensiones son 15 m de largo, 1 m de ancho y 1.2 m de alto. La paleta está conformada por un motor LinMot el cual está compuesto por un *stator* (PS10 - 70X320U-BL-QJ), un *slider* (PL10-28X1990), un *servo drive* (E1400-GP-QN-1S), un carro de desplazamiento y la paleta de empuje.

##### ↳ Canal de oleaje



La instalación del sistema se realizó de la siguiente manera: La barra actuadora va con restricciones en cada uno de sus extremos, lo que permite que el *stator* pueda tener un recorrido continuo a través de esta. El *stator* va montado en un carro con ruedas tipo portón, las que se fijan en el extremo del carro y se montan en rieles que permiten el desplazamiento horizontal del sistema. El desplazamiento horizontal permite que el carro desplace la paleta que está sujeta a la estructura y genere el oleaje moviendo la columna de agua que se encuentra inicialmente estática en el interior del canal. El movimiento de la paleta puede ser regular o irregular, el cual variará dependiendo del caso que se quiera analizar.



↩ Paleta generadora de oleaje



El canal posee un sistema de circulación para el mantenimiento del agua, el cual evita la proliferación de algas. El sistema está compuesto por una bomba (Espa 1 Hp) y un filtro de piscina (Vulcano VC-40) que en su interior posee 5 kg de grava y 80 kg de cuarzo que permiten la filtración de algas, bacterias y elementos flotantes.

#### ↳ Sistema de circulación



En otras materias, el canal permite experimentar procesos relativos a:

- Impacto de olas y tsunamis sobre obras costeras y estructuras portuarias
- Morfodinámica y regeneración de playas
- Estructuras flotantes, sistemas de amarre y movimiento de buques atracados
- Socavación en muelles y rompeolas
- Contaminación marina

### 3.2 CANAL DE CORRIENTES

El canal de corrientes permite complementar los conocimientos teóricos de la hidráulica de flujo en contornos abiertos, conocer el comportamiento de vertederos, compuertas y otros dispositivos en escurrimiento libre. Las dimensiones del canal de corrientes son 3 m de largo 0.4 m de alto y 0.2 m de ancho. El canal se compone de un estanque receptor (1.60 m de largo, 0.83 m de alto y 0.60 m de ancho), una bomba de circulación de 75 Hp, mangueras de circulación y un variador de frecuencias.

#### ↳ Canal de corrientes



### 3.3 EQUIPOS DE MEDICIÓN

#### 3.3.1 SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA SUPERFICIE LIBRE (RESISTORES)

El sistema de medición de oleaje está compuesto por un monitor de recepción de señales de 4 canales, resistores de 0.96 m de longitud, módulos de monitoreo de sondas y cables de 30 m de longitud para la conexión. El sistema opera midiendo la corriente eléctrica que fluye entre dos barras de acero inoxidable, sumergidas en el agua. La corriente es convertida en un voltaje de salida que es directamente proporcional a la profundidad que está sumergido. El monitor está compuesto de 4 módulos de monitoreo que permiten regular la corriente que pasa por los resistores. El monitor también tiene conexiones para la instalación de un Trigger y sincronización de la data que es enviada de vuelta al PC.

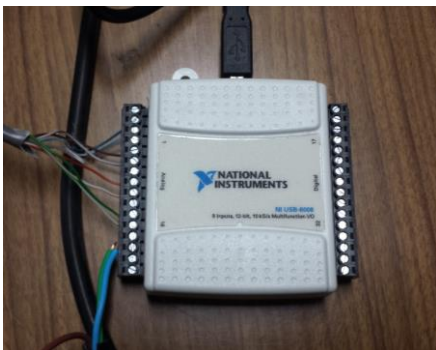
🔗 Equipo de medición de oleaje y resistores instalados en el canal.



### 3.3.2 TARJETA ENTRADA Y SALIDA DE DATOS NIUSB-6008

Es un dispositivo USB de E/S que sirve para la adquisición de data que ofrece E/S analógicas, digitales y un contador de 32 bits. Brinda funcionalidad básica para aplicaciones como registro de datos simples medidas portátiles y experimentos de laboratorio. Permite una fácil conexión de sensores y señales con conectividad de terminal de tornillo, lo que permite simplificar la configuración y las mediciones a realizar.

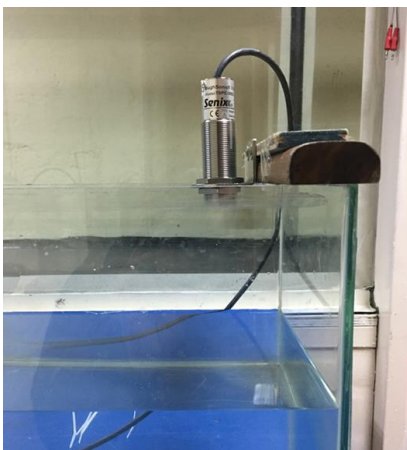
#### ↳ Tarjeta adquisidora de datos.



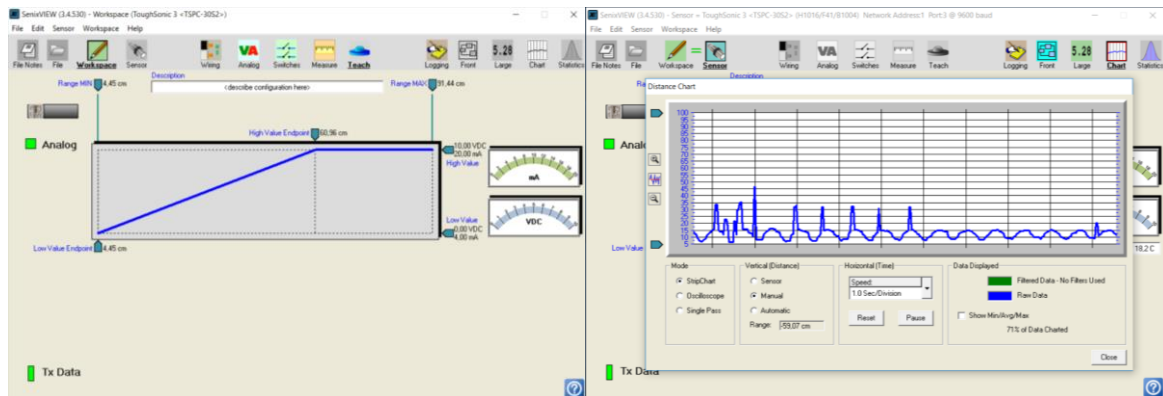
### 3.3.3 SENSOR ULTRASÓNICO TOUGHSONIC 3

Es un sensor que emite un pulso ultrasónico y permite registrar mediciones continuas de superficie. El equipo es muy versátil y puede ser utilizado en distintas mediciones que se realicen en pequeños espacios. Tiene rango de medición de 91 cm (3 pies) y presenta dos formas de conexión, mediante las cuales se puede obtener la data de modo continuo y en tiempo real, RS-232 o RS-485. Posee una resolución digital de 0.086 mm. El sistema de adquisición se compone de un sensor de posición (THOUGSONIC 3), una tarjeta de adquisición de datos y un cable de conexión tipo FR. También posee una interfaz propia que permite ver los registros realizados de manera práctica y didáctica llamada SENIXVIEW 3.

#### ↳ Sensor ultrasónico Toughsonic 3.



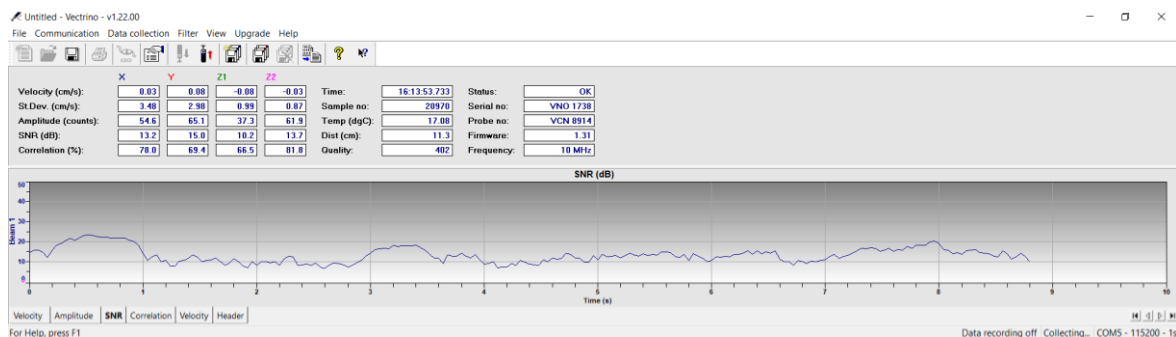
### Software SENIXVIEW para el control sensor de posición.



### 3.3.4 ADV VECTRINO

Es un velocímetro acústico de alta resolución usado para medir las fluctuaciones del agua en un volumen de control con tasas de muestreo máximas de 200 Hz. Puede ser utilizado en distintos ambientes, desde laboratorios de hidráulica hasta en el océano. Es ideal para realizar mediciones de flujo cercano a los límites o para la representación de fenómenos altamente dinámicos en tanques hidráulicos. Los componentes de este equipo son una probeta de 4 Beam direccionados hacia abajo, un sistema de cables y un cable para conexión bajo agua de 12 pin/conector RS-232. Posee una interfaz grafica propia para la manipulación, adquisición y conversión de datos obtenidos hacia un formato reconocible para diferentes softwares de procesamiento.

### ADV Vectrino y software de control y adquisición de datos ADV



### 3.3.5 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS AUDIOVISUALES

Para el registro de datos audiovisuales se cuenta con 5 cámaras (GoPro Hero 5) y 2 atriles para cámaras. La idea es poder generar un sistema de monitoreo en línea, que permita visualizar en la pantalla del computador central las imágenes de la modelación física que se realiza en el laboratorio.

### 3.3.6 CÁMARA TÉRMICA

Un segundo sistema de adquisición de información visual proviene de una cámara térmica, la cual permite identificar procesos de mezcla de cuerpos de agua de diferente temperatura, seguimiento de elementos en el agua, entre otros.

#### ↳ Cámara térmica y sus componentes



### 3.3.7 MICROSCOPIO DIGITAL

Para analizar pequeños elementos, como muestras de arena, se cuenta con un microscopio digital de la marca Learning Resources, acompañado de su software de medición y captura de imágenes (Figura 20). Este microscopio flexible es conectado directamente a un computador vía USB, logrando capturar imágenes de alta calidad, con la capacidad de ampliarlas hasta en 200x para posteriormente realizar mediciones mediante software.

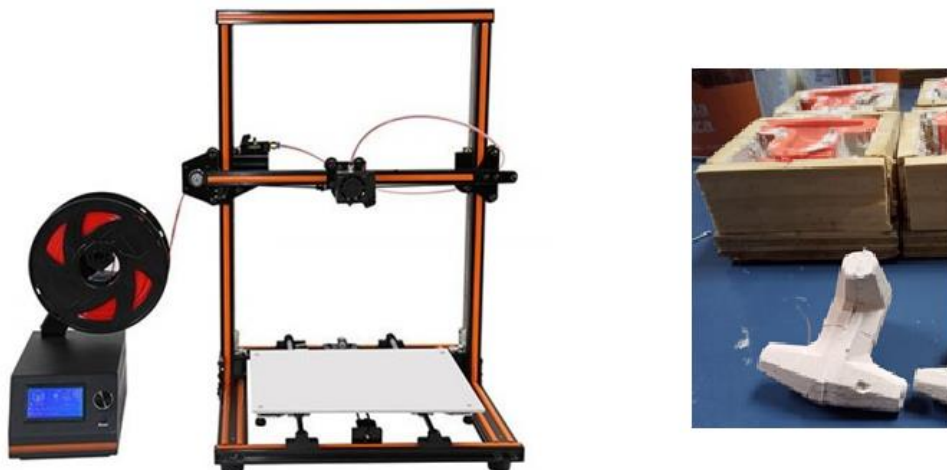
#### ↳ Microscopio digital y software de medición



### 3.3.8 IMPRESORA 3D

Para la elaboración e impresión de elementos a escala, en Labocéano se cuenta con una impresora 3D marca Anet, modelo E16. Este dispositivo permite obtener elementos de interés a ensayar en el canal de olas o canal de corrientes, controlando sus dimensiones escaladas. Esta impresora ha sido utilizada por el equipo de Ingeniería Civil Oceánica para la impresión de moldes de dolos, para luego elaborar estos elementos a base de masilla mágica.

↳ Vista referencial impresora 3D, Anet E16 y dolo elaborado con molde 3D



### 3.3.9 BOMBA PERISTÁLTICA

En Labocéano se cuenta con una bomba peristáltica (Figura 22), la cual permite controlar el volumen de fluido a considerar en un determinado ensayo. Esto se ha usado principalmente en ensayos de corrientes y oleaje, utilizando rodamina como trazador para analizar procesos de advección y difusión.

↳ Bomba peristáltica



### 3.3.10 ELEMENTOS DE DISIPACIÓN PASIVA

Los elementos de disipación se realizaron para eliminar los efectos de la reflexión que se producen en el interior del canal al generarse oleaje. Estos efectos se producen tanto en la parte final del canal como en la zona trasera de la paleta generadora, siendo ésta muy crítica para la realización de los ensayos. El sistema frontal consta de una playa disipadora de madera y el sistema posterior consta de tres elementos metálicos que simulan escolleras de protección y rellenos de grava.

#### ↳ Paleta disipadora de oleaje



### 3.3.11 IMPLEMENTACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL LABORATORIO.

A continuación, se presentan imágenes tomadas durante la implementación de las mejoras realizadas al canal, en el período comprendido de septiembre de 2017 y septiembre del 2018.

#### ↳ Primera prueba de estanqueidad



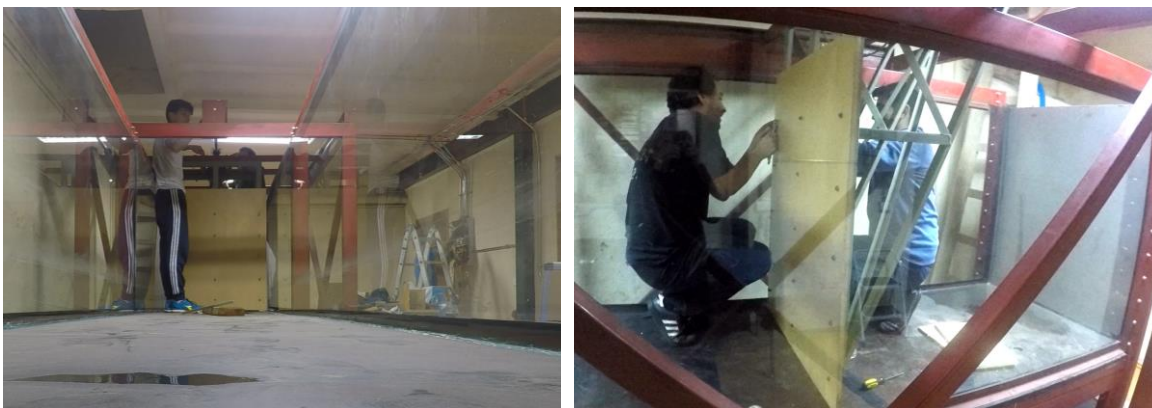
Durante la primera prueba de estanqueidad se procedió con el sellado por el interior y exterior del canal, removiendo los perfiles que fueron soldados para la fijación del vidrio. Se efectuó una alineación de las ménsulas de posición del slider del motor y se realizó el montaje de viga para restringir el momento generado por el oleaje reflejado.



↳ Instalación de rieles para mejorar la alineación del carro



↳ Montaje de la paleta que desplaza la columna del agua en el carro de generación de oleaje



↳ Instalación del soporte de la paleta de oleaje

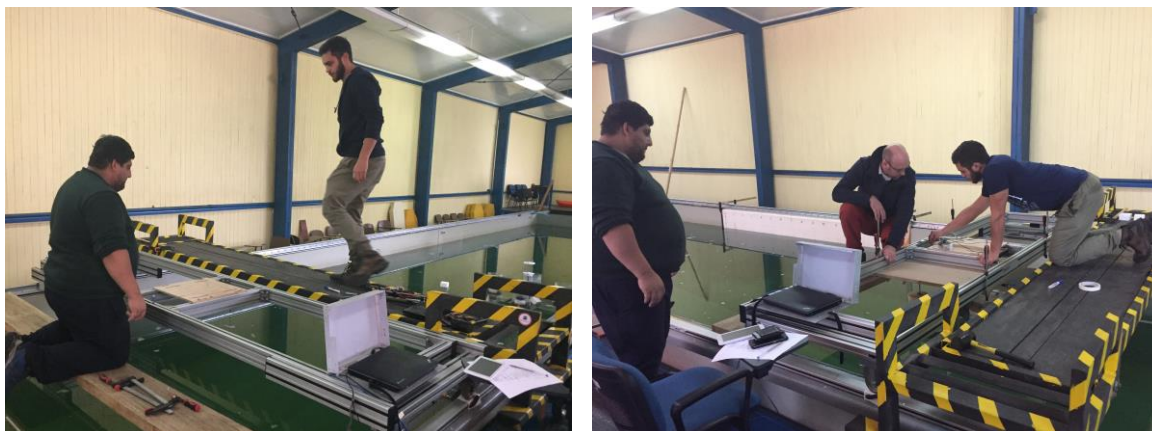


## 4 VISITAS TÉCNICAS

### 4.1 UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

En el contexto de la creación de una red de laboratorios de ingeniería hidráulica para Chile, proyecto liderado por el Instituto Nacional de Hidráulica de Chile (INH), los docentes de la Universidad Austral de Chile Gonzalo Tampier y Cristian Cifuentes, nos hicieron la invitación a las dependencias del Canal de Ensayos Hidrodinámicos de la Universidad Austral de Chile, para estar presente en unas modelaciones físicas de un prototipo en el cual estaban trabajando. El objetivo de la visita fue conocer de manera directa las distintas problemáticas que pueden ocurrir en el transcurso de las distintas pruebas.

#### ↳ Capacitación en Canal de Ensayos Hidrodinámicos de la Universidad Austral de Chile.



### 4.2 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE DELFT, PAÍSES BAJOS.

La Universidad Técnica de Delft es reconocida a nivel mundial por el desarrollo de la ingeniería en el ámbito marítimo, debido al desafío de mantener seguro su país ante las crecidas de sus ríos y vías navegables y la constante amenaza de la penetración del mar hacia el interior de éstas. En la actualidad el laboratorio hidráulico de la UT Delft cuenta con tres canales de oleaje y dos canales de flujo para escurrimiento libre. Sin embargo, recientemente se está construyendo un canal de 100 metros de largo que permitirá analizar la interacción que se produce en las desembocaduras de los ríos y el mar y uno para analizar el transporte de sedimentos en ríos. La visita técnica fue coordinada de manera directa con el profesor Tiedo Vellinga de la UT Delft.

#### 📍 Visita de Delft University, Holanda



### 4.3 SEATECH ÉCOLE D'INGÉNIEURS, UNIVERSIDAD DE TOULON, FRANCIA

Es un centro de estudios marítimos que se encarga de la formación de Ingenieros marítimos en la costa mediterránea de Francia, específicamente en la ciudad de Toulon. El motivo de la visita fue conocer el proceso de formación de profesionales basado en el uso de laboratorios de modelación física para ingeniería marítima y offshore. La visita fue guiada por Simon Billeaudeau alumno de último año de la carrera de ingeniería marítima quien trabajo en LabOcéano durante 3 meses, tanto en la parte de modelación matemática como en el desarrollo de los disipadores pasivos de energía propuestos para el canal de olas. El centro cuenta con dos canales los cuales pueden ser utilizados para oleaje y solo uno de ellos para olas y flujos superficiales. Además poseen un tanque para analizar patrones de circulación de corrientes.

#### 📍 Visita de Seatech École D'Ingénieurs, Francia



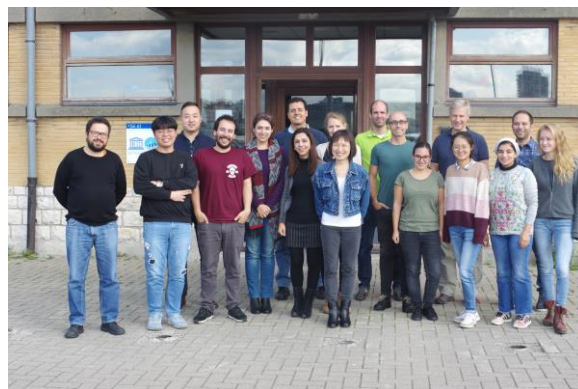
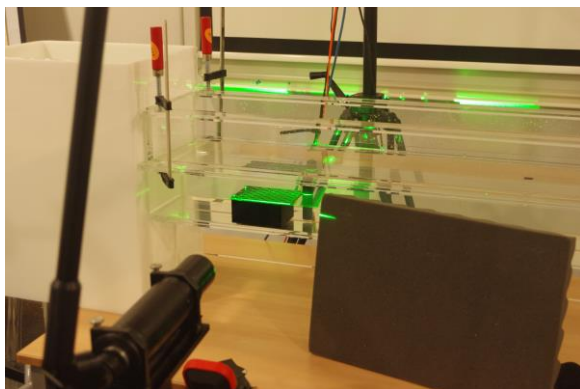
#### 4.4 W.A.T.E.R. 2018 AT VLIZ, OSTENDE BÉLGICA.

Workshop on Advanced measurement Techniques and Experimental Research (WATER) es un curso de verano impartido por la Universidad de Bruselas (VRIJE) y la International Association for Hydro-Environment Egineering and Research (IAHR) en colaboración con el Flanders Marine Institute (VLIZ). Esta escuela de verano está enfocada en la aplicación de métodos experimentales para diferentes campos de la hidráulica. Combina sesiones teóricas y aplicadas, realizando mediciones de casos reales en laboratorios con equipos especiales. Los tópicos que fueron abordados en el curso se presentan a continuación:

- Fundamentos de medición hidráulica.
- Métodos de análisis de imágenes: Particle Image Velocity y Particle Tracking Velocity (PIV y PTV).
- Fundamentos de las mediciones realizadas con ADCP en laboratorio.
- Medición de la concentración de sedimentos y flujos.
- Procesamiento y visualización de datos.

El curso y la estadía en Ostende de Francisco Molteni fue financiada por el proyecto FONDECYT de iniciación 2015, CÓDIGO 11150003 del profesor Patricio Winckler Grez.

##### ↳ Curso WATER de modelación física, Bélgica



## 5 PROYECTOS

### 5.1 BANCO DE PROYECTOS INTERNOS UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO

---

Financiamiento:	BPI - Universidad de Valparaíso (BPI1210)
Otras entidades:	Dirección de Planificación y Desarrollo Universidad de Valparaíso
Académicos:	José Beyá, Mauricio Reyes y Mauricio Molina
Año inicio / término:	2010 - 2015
Monto ICO-UV:	\$ 45.000.000

---

Este laboratorio constituye un complemento al laboratorio de modelación numérica que funciona al alero de la escuela, dotando a la Universidad de Valparaíso de infraestructura que permita posicionarla a la vanguardia del estudio físico en ingeniería marítima a nivel nacional. El emplazamiento proyectado corresponde a un espacio en el subterráneo de la Facultad de Ingeniería. Se considera la implementación del canal que incluye una paleta generadora de oleaje, sistemas de bombeo para generar corrientes, una turbina para generar vientos, un canal de corrientes, cámaras, computadores, velocímetros acústicos, resistores que miden la desnivelación de la superficie y sensores acústicos de precisión milimétrica.

### 5.2 ESTUDIO EN MODELO FÍSICO DE VERTIDOS DE CARBÓN Y OTROS TRAZADORES

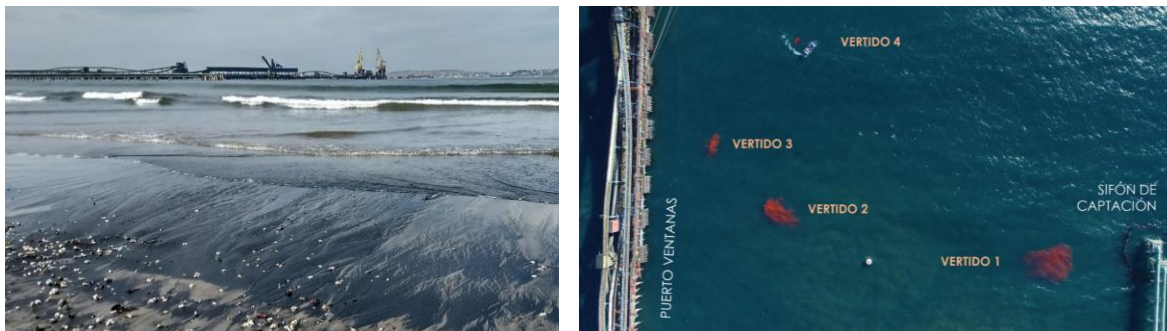
---

Título oficial:	Estudio en modelo físico del comportamiento de trazadores lagrangianos bajo condiciones forzantes de oleaje, corrientes y vientos
Financiamiento:	ECOTECNOS
Académicos:	Patricio Winckler, Mauricio Reyes, Francisco Molteni y Rui Aleixo (visitante)
Año inicio / término:	2019-2020
Aporte CORFO:	UF 1800

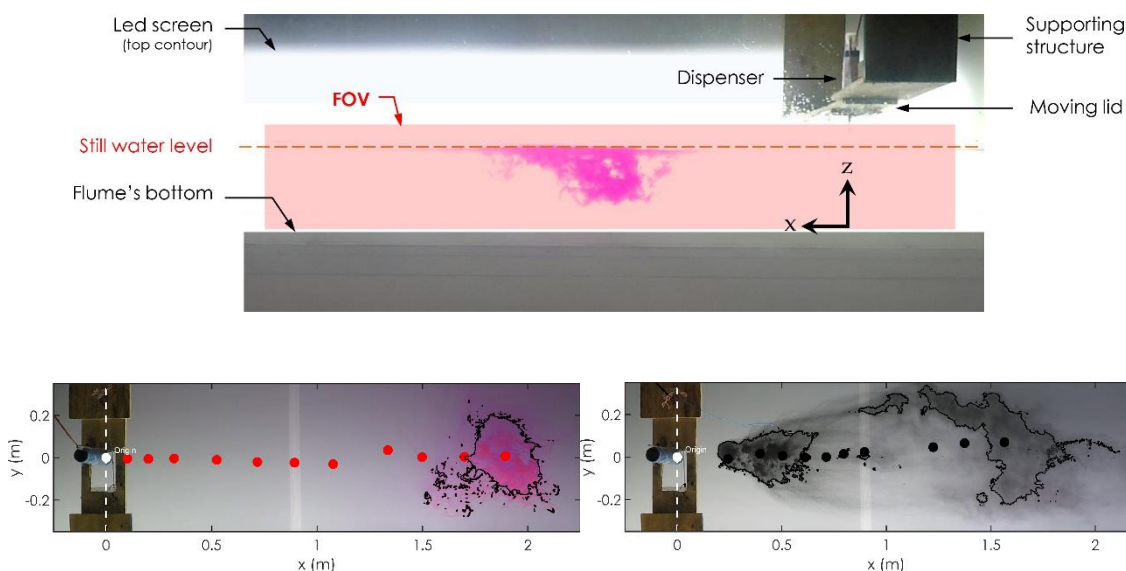
---

El estudio buscó investigar los procesos de mezcla del carbón y otros trazadores en agua bajo la acción de oleaje, corrientes y vientos, mediante modelos físicos con la finalidad de determinar el trazador que más similitud presenta respecto del carbón. En este estudio, desarrollado en dos etapas, se efectuaron 112 ensayos en modelo físico para las diversas sustancias (carbón fino, grueso, carbón con arena, rodamina y arena de cuarzo) y forzantes en condiciones medias y extremas. Los ensayos se desarrollaron en el laboratorio de Hidráulica Marítima (Labocéano). Para las magnitudes de corrientes, oleaje y vientos definidas por Ecotecnos, se concluyó que la rodamina permite caracterizar los procesos de advección y difusión turbulenta de la fracción más fina de carbón.

### Vertido de carbón en Quintero y lanzamiento de rodamina (gentileza de ECOTECNOS).



### Procesamiento de imágenes de carbón y rodamina en el canal del Labocéano



## 5.3 ESCALA DE IMPACTO DE MAREJADAS PARA LA DISMINUCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE

Título oficial:	Desarrollo de una escala de impacto de marejadas para la comunicación efectiva y disminución del riesgo de desastre
Otras instituciones:	ONEMI, el Servicio Meteorológico de la Armada, ECOTECNOS S.A., Ilustre Municipalidad de Viña del Mar, SERNAPESCA y Cuerpo de Voluntarios de los Botes Salvavidas de Valparaíso
Financiamiento:	ANID, IDEA I+D, Desafío País Adaptación al Cambio Climático y Desastres de Origen Natural (código: ID20110404)
Académicos:	Catalina Aguirre (Directora), Mauricio Molina, Patricio Winckler
Ex – alumnos:	Sebastián Correa (MarejadasUV), Matías Quezada (ECOTECNOS S.A.)
Estudiantes ICO:	Daphne Vargas, Almendra Hermosilla
Año inicio / término:	2021 – 2022
Monto:	\$ 199.990.000

El objetivo del proyecto es el desarrollo y validación de una escala de impacto de marejadas que simplifique la descripción de este fenómeno de origen natural, para fortalecer la comunicación efectiva con los usuarios del borde costero, y que pueda ser implementada en un sistema de pronóstico de oleaje validado en la Bahía de Valparaíso para la prevención y manejo de emergencias. Para tal propósito, en los dos años que dura el proyecto se realizará mediciones de oleaje, de playas y de impactos de marejadas en Reñaca, Avenida Perú y Playa Acapulco en Viña del Mar a través de ADCP, sensores de presión y cámaras. También se realizarán ensayos de modelos físicos en el canal de olas de nuestro Laboratorio con el fin de representar los comportamientos del oleaje en la costa, además de simulaciones numéricas. Todas estas actividades permitirán validar formalmente el Sistema de Alerta de Marejadas (MarejadasUV) y la propuesta de escala de impacto de marejadas que hemos desarrollado en la Escuela.

Este proyecto es de alta relevancia para la Escuela ya que permitirá consolidar las relaciones institucionales que se ha logrado en MarejadasUV en sus 3 años de funcionamiento, además de la vocación de servicio a la comunidad que tienen nuestras notificaciones. Este proyecto tiene una estrecha relación con el proyecto FONDEF “Un Atlas de Oleaje Para Chile” que lideró el profesor José Beyá entre 2015 y 2016 y cuyos resultados son el fundamento que permitió desarrollar el presente proyecto.

## 6 REFERENCIAS

Tolman, H. (2014). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 4.18. Environmental Modeling Center, Marine Modeling and Analysis Branch.