



MEMORIA DEL PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL OCEÁNICO

“CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO WAVEWATCH III V. 4.18, PARA SU APLICACIÓN EN LA GENERACIÓN DE UN REANÁLISIS DE OLEAJE EN LAS COSTAS DE CHILE”

JULIO 2017

Héctor Hidalgo Luarte

Comisión Evaluadora: José Beyá M. (Profesor guía) ; Catalina Aguirre G. ; Ariel Gallardo Y.

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- OBJETIVOS

- MODELO WAVEWATCH III
 - PARAMETRIZACIONES DE LOS PROCESOS FÍSICOS

Estado del arte

- CLÚSTER DE SERVIDORES
- FUENTES DE INFORMACIÓN
 - CONJUNTO DE DATOS BATIMÉTRICOS Y LINEA DE COSTA
 - REANÁLISIS ATMOSFERICO
 - MEDICIONES INSTRUMENTALES
- CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN
 - RESOLUCIÓN Y EXTENSIÓN DEL DOMINIO
 - ESQUEMAS Y PARAMETRIZACIONES FÍSICAS
 - FORZANTES Y CALIBRACIÓN DE ESQUEMAS Y PARAMETRIZACIONES FÍSICAS
 - CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN
 - VALIDACIÓN

Metodología de Calibración y Validación

- RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Resultados

INTRODUCCIÓN

- Información de oleaje en Chile escasa y de calidad desconocida.
- La normativa vigente en Chile establece que para todo estudio de oleaje se requiere una base de datos de largo plazo de oleaje espectral.
- Mediciones de oleaje de corta duración y localizadas.
- En la práctica se emplean modelos para suplir la falta de información.
- Existe información de largo plazo proveniente de bases de datos de reanálisis de oleaje de centros de investigación internacionales (parámetros estadísticos y no espectros completos) y empresas privadas (uso restringido y de un alto costo).
- El presente trabajo busca cubrir esta necesidad de información, generando una base de datos de largo plazo de oleaje espectral calibrada y validada para las costas de Chile.

OBJETIVOS

General

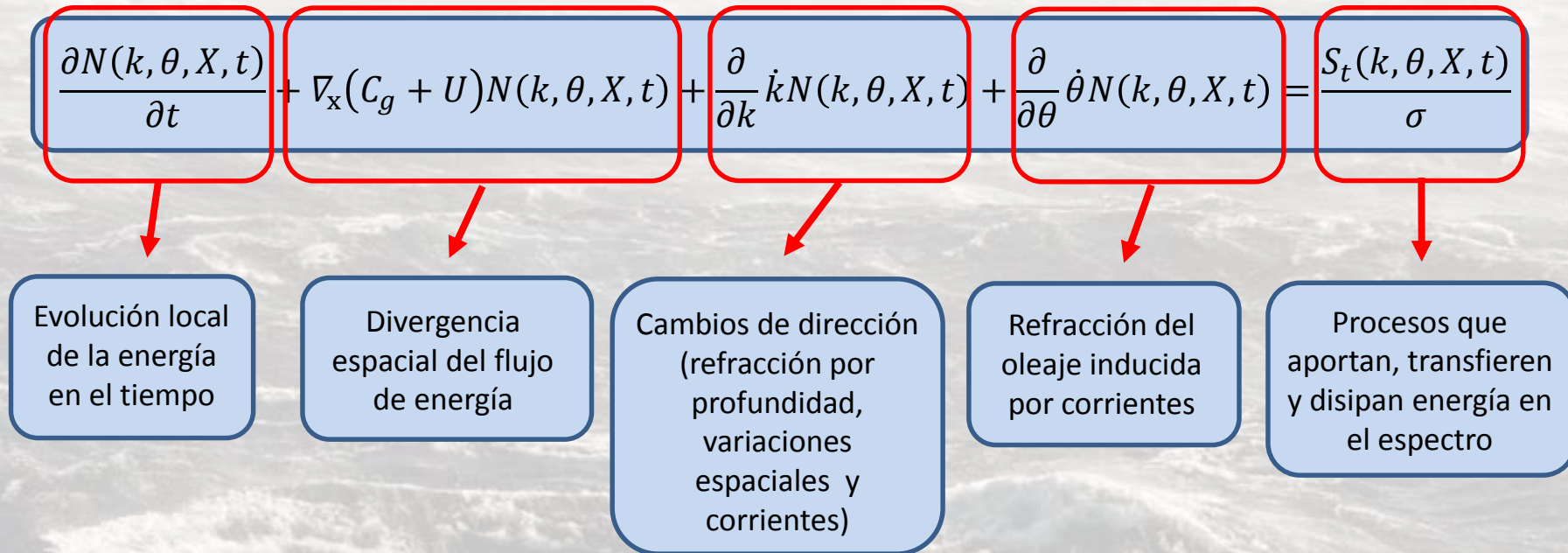
- Calibrar y validar el modelo numérico de base física de tercera generación WAVEWATCH III v. 4.18 para las costas de Chile continental e insular, con el objetivo de generar una base de datos de a lo menos 20 años de oleaje espectral.

Específicos

- Determinar la extensión y resolución del dominio computacional y batimétrico, mediante la evaluación el desempeño de las simulaciones en relación a mediciones instrumentales y la comparación de los tiempos de cálculo obtenidos.
- Determinar la combinación de parametrizaciones físicas del modelo, que permitan representar de mejor forma las condiciones de generación y propagación de oleaje desde en la cuenca del Océano Pacífico hacia la costa chilena.
- Determinar la fuente de datos de reanálisis atmosférico que se utilizará para forzar el modelo y ajustar algunas de las parametrizaciones físicas más relevantes que intervienen en el proceso de generación de oleaje, para mejorar los resultados de las simulaciones.
- Establecer una metodología de cuantificación del desempeño de los escenarios de calibración en relación a datos instrumentales.
- Validar la base de datos generada en las costas de Chile continental e insular, mediante la comparación de resultados del modelo calibrado con registros provenientes de dispositivos de medición in-situ y de teledetección.

MODELO WAVEWATCH III

- WAVEWATCH III es un modelo numérico de base física de generación y propagación de oleaje de tercera generación desarrollado por la Marine Modeling and Analysis Branch (MMBA) de la National Centers for Environmental Prediction (NCEP) de la NOAA.



$N(\sigma, \theta, x, y, t)$ Acción de densidad espectral

C_g Velocidades de grupo

MODELO WAVEWATCH III

- WAVEWATCH III es un modelo numérico de base física de generación y propagación de oleaje de tercera generación desarrollado por la Marine Modeling and Analysis Branch (MMBA) de la National Centers for Environmental Prediction (NCEP) de la NOAA.

$$\frac{\partial N(k, \theta, X, t)}{\partial t} + \nabla_x (C_g + U) N(k, \theta, X, t) + \frac{\partial}{\partial k} \dot{k} N(k, \theta, X, t) + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta} N(k, \theta, X, t) = \frac{S_t(k, \theta, X, t)}{\sigma}$$

$$\dot{k} = -\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial s} - k \frac{\partial U}{\partial s}$$

$$\dot{\theta} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + k \frac{\partial U}{\partial m} \right]$$

$$S_t = S_{ln} + S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{db} + S_{tr} + S_{sc} + S_{ice} + S_{ref} + S_{xx}$$

S_{ln} : Crecimiento lineal S_{in} : Crecimiento exponencial S_{ds} : Disipación por rotura en aguas profundas y viento-swell

S_{nl} : Interacción no lineal entre cuádrupletas ola-ola S_{bot} : Interacción del oleaje con el fondo marino

S_{db} : Disipación por rotura del oleaje inducida por fondo S_{tr} : Interacción no lineal entre triadas Ola-Ola

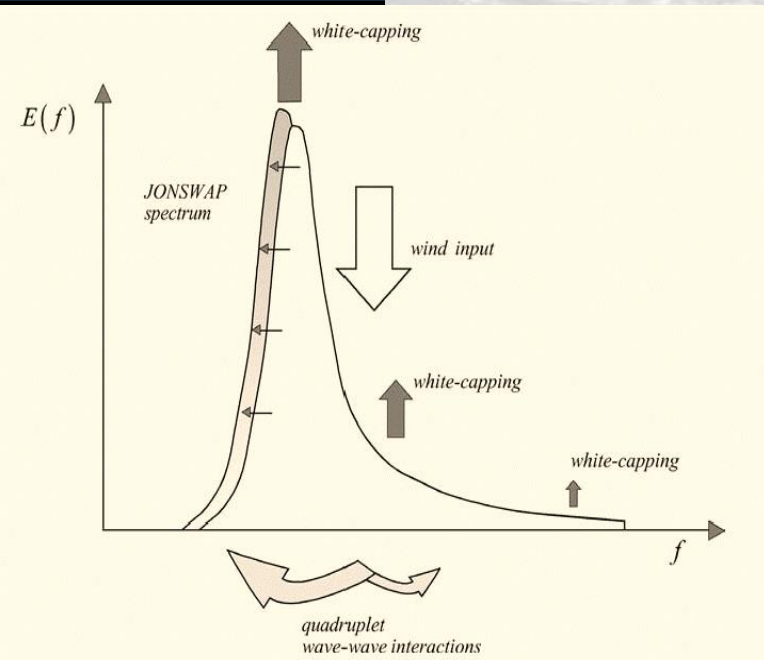
S_{sc} : Disipación por dispersión inducida por fondo S_{ice} : Interacción ola-hielo

S_{ref} : Reflexión por línea de costa y obstáculos S_{xx} : Término fuente definido por el usuario.

PARAMETRIZACIONES DE LOS PROCESOS FÍSICOS

Proceso	Aguas Oceánicas	Aguas Costeras		
		Plataforma continental	Proximidad de la costa	Rada portuaria
Generación por viento	XXX	XXX	X	O
Interacción no lineal entre cuádrupletas	XXX	XXX	X	O
White-Capping	XXX	XXX	X	O
Fricción de fondo	O	XXX	XX	O
Refracción inducida por corrientes	O/X	XXX	XX	O
Refracción y asomeramiento inducidos por fondo	O	XXX	XXX	XX
Rotura inducida por el fondo	O	XXX	XXX	O
Interacción no lineal entre triadas	O	O	XX	XX
Reflexión	O	O	X/XX	XXX
Difracción	O	O	X	XXX

XXX = Dominante; XX = Significativo; X = Importancia menor; O = Irrelevante



PARAMETRIZACIONES DE LOS PROCESOS FÍSICOS

Esquema de propagación	
PR1	Esquema de primer orden (Tolman H. , 2014)
UNO	Esquema de advección de segundo orden
UQ	Ultimate-Quick-Est

Técnica de alivio GSE	
PRO/PR1	Sin técnica de alivio
PR2	Término difusión corrección
PR3	Promediación espacial de Tolman

Parametrizaciones de los procesos físicos	
Crecimiento y Disipación de Energía debido al Viento (S_{In}, S_{Inr}, S_{ds})	Switch
Calavari & Malonatte-Rizzoli (1981)	LN1
Spectral seeding WWIII	SEED
WAM cycle 3 (Snyder et al., 1981 & Komen et al., 1984)	ST1
Tolman & Chalikov (1996)	ST2 ; STAB2
WAM cycle 4 (Bidlot et al., 2005)	ST3 ; STAB3
Ardhuin et al.(2010)	ST4
BYDRZ	ST6
Interacciones no Lineales entre Cuadrupletas (S_{nl})	Switch
DIA (Aproximación por interacciones discretas) (Hasselmann et al., 1985)	NL1
Integral de Boltzmann (WRT)	NL2
Generalized Multiple DIA (GMD) (Aproximación por interacciones discretas generalizada)	NL3
Disipación Inducida por el Fondo (S_{bot})	Switch
JONSWAP (Hasselmann et al., 1973)	BT1
SHOWEX	BT4
Disipación inducida por fondo fangoso	BT8
Rotura Inducida por Fondo (S_{db})	Switch
Battjes & Janssen 1978	DB1/MLIM
Dispersión por fondo (S_{sc})	Switch
Ardhuin & Magne, 2007	BS1
Interacciones no Lineales entre Triadas (S_{tr})	Switch
Modelo LTA (Eldeberky, 1996)	TR1

Switch de compilación

Ejemplo

PARAMETRIZACIONES DE LOS PROCESOS FÍSICOS

Ejemplo

$$S_{in}(k, \theta) = \frac{\rho_a \beta_{max}}{\rho_w \kappa^2} e^{z Z^4} \left(\frac{u_*}{C} + z_\alpha \right)^2 \cos^{p_{in}}(\theta - \theta_u) \sigma N(k, \theta) + S_{out}(k, \theta)$$

$$(u'_*)^2 = \left| u_*^2 (\cos \theta_u, \sin \theta_u) - |s_u| \int_0^k \int_0^{2\pi} \frac{S_{in}(k', \theta)}{C} (\cos \theta, \sin \theta) dk' d\theta \right|$$

$$S_{out}(k, \theta) = r_{vis} S_{out,vis}(k, \theta) + r_{tur} S_{out,tur}(k, \theta)$$

$$r_{vis} = 0.5(1 - \tanh((Re - Re_c)/s_7)) \quad S_{out,vis}(k, \theta) = -s_5 \frac{\rho_\alpha}{\rho_w} \{2k\sqrt{2\nu\sigma}\} N(k, \theta)$$

$$r_{tur} = 0.5(1 + \tanh((Re - Re_c)/s_7)) \quad S_{out,tur}(k, \theta) = -\frac{\rho_\alpha}{\rho_w} \{16f_e \sigma^2 u_{orb,s}/g\} N(k, \theta)$$

Aporte de energía debido al viento según el término ST4

Par.	WWATCH var.	namelist	TEST451	TEST451f	TEST405	TEST500
z_u	ZWND	SIN4	10.0	10.0	10.0	10.0
α_0	ALPHA0	SIN4	0.0095	0.0095	0.0095	0.0095
β_{max}	BETAMAX	SIN4	1.52	1.33	1.55	1.52
p_{in}	SIN1HP	SIN4	2	2	2	2
z_α	ZALP	SIN4	0.006	0.006	0.006	0.006
s_u	TAUWSHELTER	SIN4	1.0	1.0	0.0	1.0
s_1	SWELLF	SIN4	0.8	0.8	0.8	0.8
s_2	SWELLF2	SIN4	-0.018	-0.018	-0.018	-0.018
s_3	SWELLF3	SIN4	0.015	0.015	0.015	0.015
Re_c	SWELLF4	SIN4	10^5	10^5	10^5	10^5
s_5	SWELLF5	SIN4	1.2	1.2	1.2	1.2
s_6	SWELLF6	SIN4	0.	0.	0.	0.
s_7	SWELLF7	SIN4	2.3×10^5	2.3×10^5	0.0	0.0
z_r	ZORAT	SIN4	0.04	0.04	0.04	0.04
$z_{0,max}$	ZOMAX	SIN4	1.002	1.002	0.002	1.002

CLÚSTER DE SERVIDORES CIMFAV-INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA

Rol	Head Node (existente)
Marca y Modelo	Dell R715
Procesadores	2 procesadores AMD Opteron 6378 de 2.4 Ghz de 16 núcleos cada uno
Memoria	32 GB de RAM (16x2GB)
Storage	2 Discos duros SAS de 1 TB, 7.2K (raid 1) 2 Discos duros SAS de 1.2 TB, 10K (raid 0)

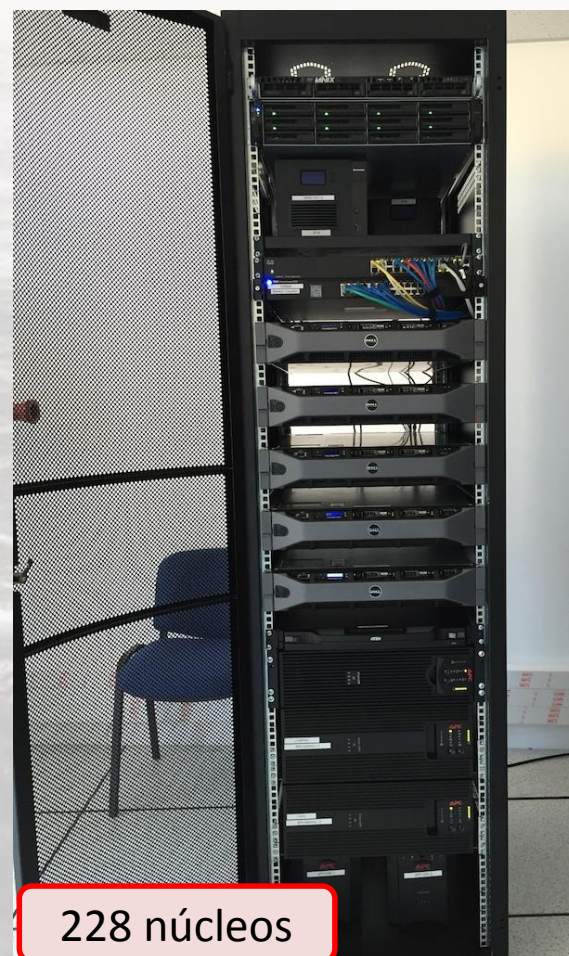
Rol	Node-1 (existente)
Marca y Modelo	Dell R815
Procesadores	4 procesadores AMD Opteron 6378 de 2.4 Ghz de 16 núcleos cada uno
Memoria	256 GB de RAM (32x8GB)
Storage	2 Discos duros SAS de 146 GB, 15K (raid 1) 2 Discos duros SAS de 1.2 TB, 10K (raid 0)

Rol	Node-2 (existente)
Marca y Modelo	Dell R815
Procesadores	4 procesadores AMD Opteron 6378 de 2.4 Ghz de 16 núcleos cada uno
Memoria	256 GB de RAM (32x8GB)
Storage	2 Discos duros SAS de 146 GB, 15K (raid 1) 2 Discos duros SAS de 1.2 TB, 10K (raid 0)

Rol	Node-3 (adquirido)
Marca y Modelo	Dell R815
Procesadores	4 procesadores AMD Opteron 6378 de 2.4 Ghz de 12 núcleos cada uno
Memoria	128 GB de RAM (16x8GB)
Storage	2 Discos duros SAS de 146 GB, 15K (raid 1) 4 Discos duros SAS de 1 TB, 7.2K (raid 5)

Rol	Node-4 (adquirido)
Marca y Modelo	Dell R815
Procesadores	4 procesadores AMD Opteron 6378 de 2.4 Ghz de 12 núcleos cada uno
Memoria	128 GB de RAM (16x8GB)
Storage	2 Discos duros SAS de 146 GB, 15K (raid 1) 4 Discos duros SAS de 1 TB, 7.2K (raid 5)

Un año de simulación en 2 horas utilizando 48 núcleos



228 núcleos

CONJUNTO DE DATOS BATIMÉTRICOS Y LINEA DE COSTA

- Gallardo (2015), comparación de bases de datos GEBCO y ETOPO2v2.
- Batimetría ETOPO2v2 (NGDC, 2006)
 - Resolución 2' x 2' (1,853 km en el ecuador)
 - Latitudes 90° S a 90° N
 - Longitudes 180° W a 180° E
- Línea de costa GSHHG (Wessel & Smith, 1996)

Nivel	Resolución
Full	0.04Km
High	0.2Km
Intermediate	1Km
Low	5Km
Crude	25Km

- Generación de mallas batimétricas y mascarar de obstrucción mediante algoritmo GridGen (Chawla & Tolman, 2013)

REANÁLISIS ATMOSFÉRICO

- Información generada por modelos de predicción atmosférica y reprocesada mediante técnicas de asimilación de datos.
 - Campos de velocidad del viento a 10 m de altura
 - Concentraciones de hielo marino

Reanálisis	Periodo de Tiempo		Resolución Horizontal	Niveles Verticales	Fuente
	Inicio	Término			
R1	1948	actualidad	2.5° x 2.5°	29	CPC [1]
R2	1979	actualidad	2.5° x 2.5°	29	NCDC [2]
CFSR	1979	03/2011	0.5° x 0.5°	64	NOMADS [3]
CFSv2	2011	actualidad	0.2°, 0.5°, 1° y 2.5°	64	NOMADS [4]
ERA-Interim	1979	actualidad	0.5° x 0.5°	60	ECMWF [5]

[1] <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/reanalysis.html>

[2] <http://www.ncdc.noaa.gov/has/HAS.FileAppRouter?datasetname=NCDOEGR2MON&subqueryby=STATION&appName=&outdest=FILE>

[3] <http://nomads.ncdc.noaa.gov/data.php?name=access#cfsr>

[4] <http://nomads.ncdc.noaa.gov/data.php?name=access#cfsr>

[5] <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>

MEDICIONES INSTRUMENTALES (BOYAS)

Nombre	Localidad	Ubicación		Profundidad [m]	Periodo de medición		Fuente
		Lat.[°]	Lon.[°]		Inicio	Término	
B1	Arica	-19.37	-84.37	5441	2009-10-29	2013-12-31†	NOAA-NDBC
B2	Valparaíso	-32.99	-71.82	465	2009-08-30	2010-10-10	SHOA
B3	Valparaíso	-32.93	-71.67	190	2000-08-01	2003-08-01†	SHOA
B4	Valparaíso	-32.98	-71.62	190	1979-06-07	1981-08-10	SHOA
B5	V Región	-XX.XX	-XX.XX*	150	2011-06-16	2013-12-21†	CORFO-INNOVA*
B6	Constitución	-35.3	-73	710	1984-02-18	1985-02-22	SHOA
B7	VII Región	-XX.XX	-XX.XX	150	2011-09-16	2012-05-16†	CORFO-INNOVA*
B8	XIV Región	-XX.XX	-XX.XX	150	2012-11-21	2013-07-30	CORFO-INNOVA*

* La ubicación exacta de los instrumentos no puede ser revelada debido a un acuerdo de confidencialidad con el proyecto CORFO-INNOVA 09CN14-5718.

† Registros no continuos.

Nombre	Tipo	Intervalo de tiempo entre registros	Cantidad de estados de mar registrados	Información disponible
B1	Direccional	1 hora	47380	$S(f)^*$, H_{m0} , T_m , D_p
B2	Direccional	3 horas	3207	$S(f, \theta)$ †, H_{m0} , T_m , D_m
B3	Direccional	1 hora	14750	$S(f, \theta)$, H_{m0} , T_m , D_m
B4	Escalar	3 horas	2290	H_{m0} , T_m
B5	Direccional	1 hora	14963	$S(f, \theta)$, H_{m0} , T_m , D_m
B6	Escalar	3 horas	2885	H_{m0} , T_m
B7	Direccional	1 hora	2394	$S(f, \theta)$, H_{m0} , T_m , D_m
B8	Direccional	1 hora	5066	$S(f, \theta)$, H_{m0} , T_m , D_m

$S(f)$: Espectro de oleaje en el dominio de la frecuencia.

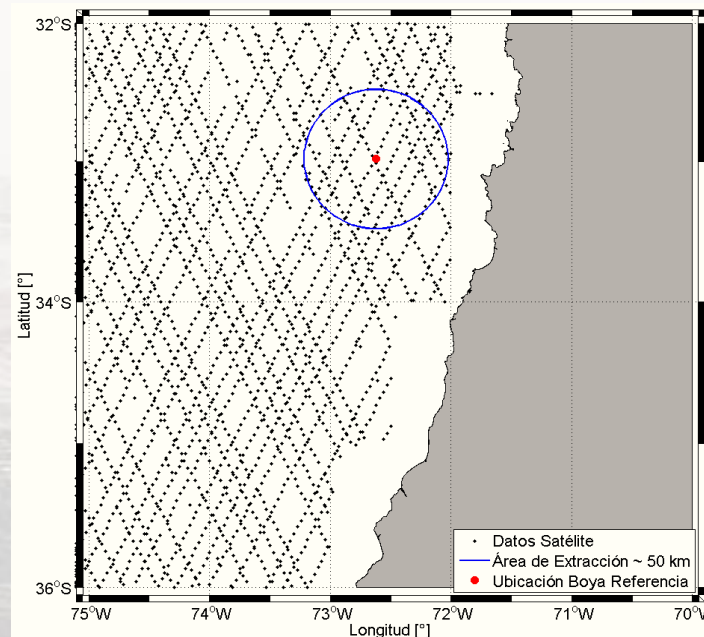
$S(f, \theta)$: Espectro de oleaje en el dominio de la frecuencia y la dirección

Registros en aguas profundas de 6 boyas direccionales y 2 escalares.

Información facilitada por el proyecto CORFO-INNOVA 09CN14-5718 y el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.

MEDICIONES INSTRUMENTALES (SATÉLITES, PROYECTO ESA-GLOBWAVE)

- Globwave es una iniciativa de la European Space Agency (ESA), cuyo objetivo es facilitar datos de oleaje para usos científicos, operacionales y comerciales.
 - Nivel de procesamiento L2P
 - Formato estandarizado
 - Información respecto a la calidad del dato entregado
- 6 misiones utilizadas
- Metodología de extracción de datos en torno a un área circular de radio 50 Km.



Nombre	Misión	Duración de la misión		Nº de ciclos
		Inicio	Término	
Sat1	ERS-1	1992-02-01	1996-06-02	3, 35 o 168 días*
Sat2	ERS-2	1995-05-15	2003-05-22	35 días
Sat3	ENVISAT	2002-08-26	2012-04-08	2 o 25 días
Sat4	Topex-Poseidon	1992-09-25	2005-10-08	10 días
Sat5	Jason-1	2002-02-15	a la fecha	10 días
Sat6	GFO	2000-01-08	2008-07-23	17 días

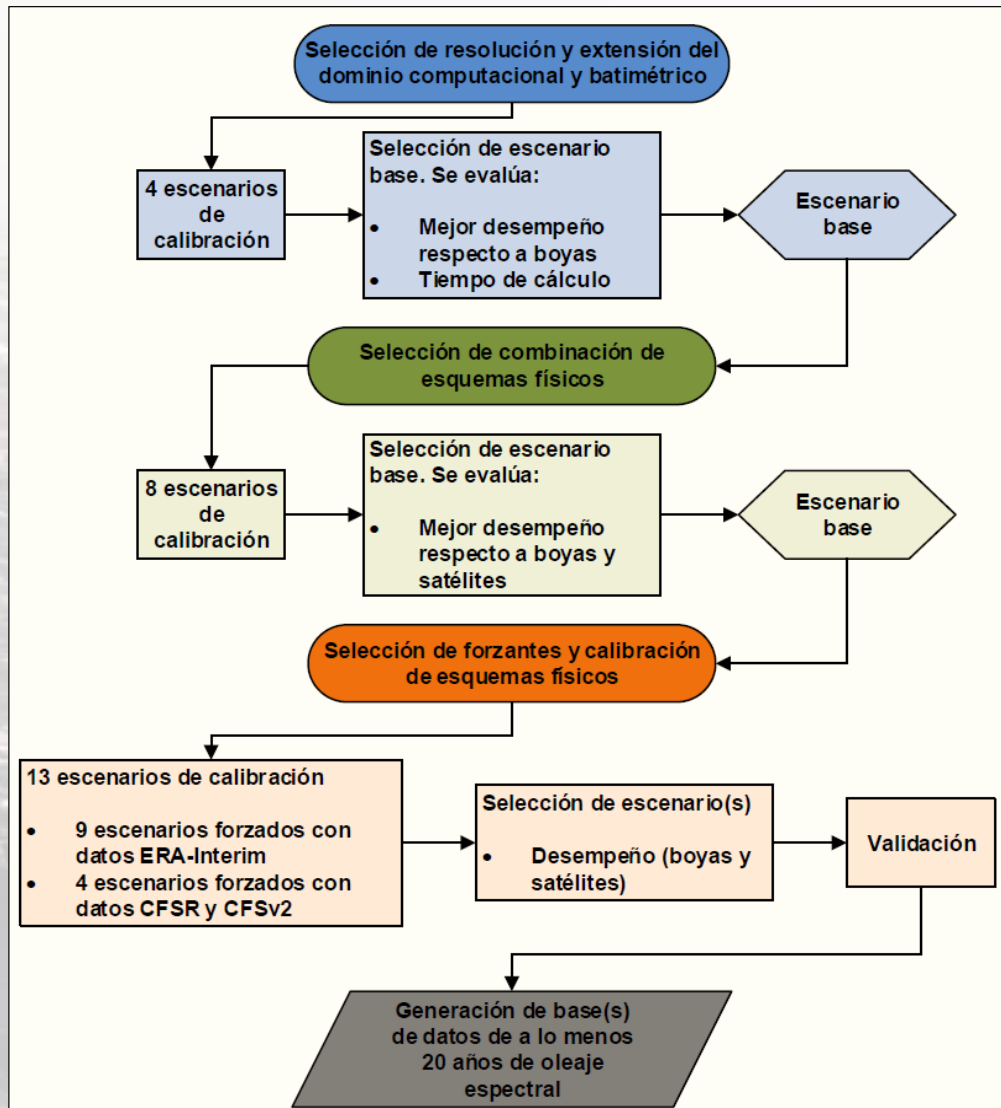
* Ciclos variables de 3 , 35 y 168 días, debido a la falta de rutas fijas de paso del satélite en el globo terrestre

METODOLOGIA DE CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN

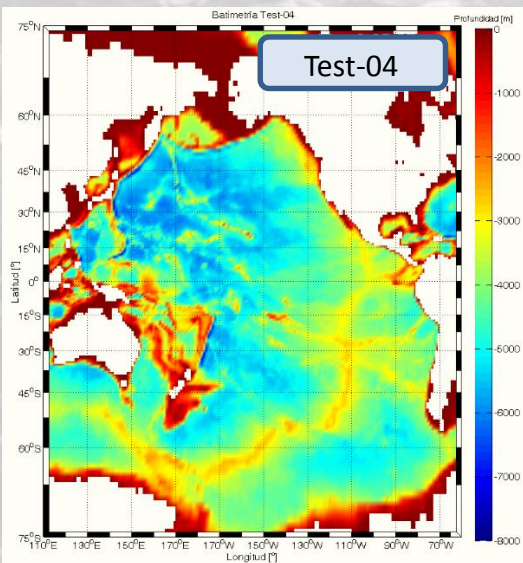
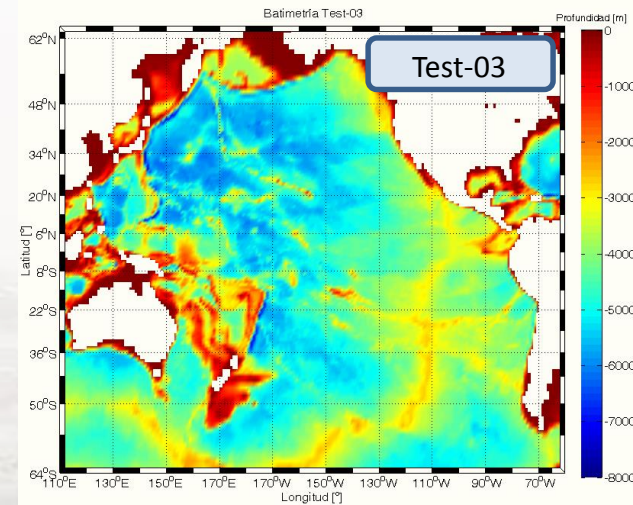
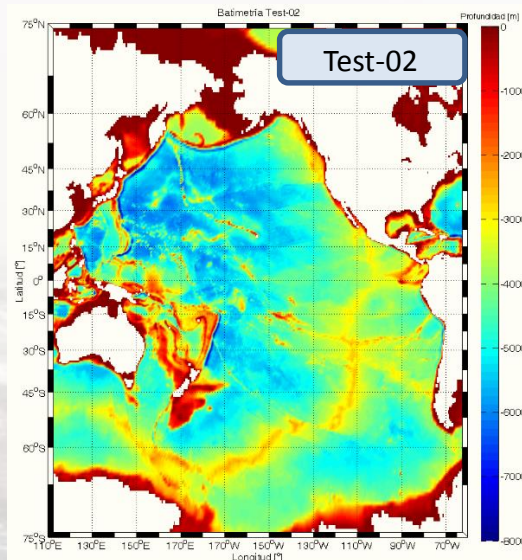
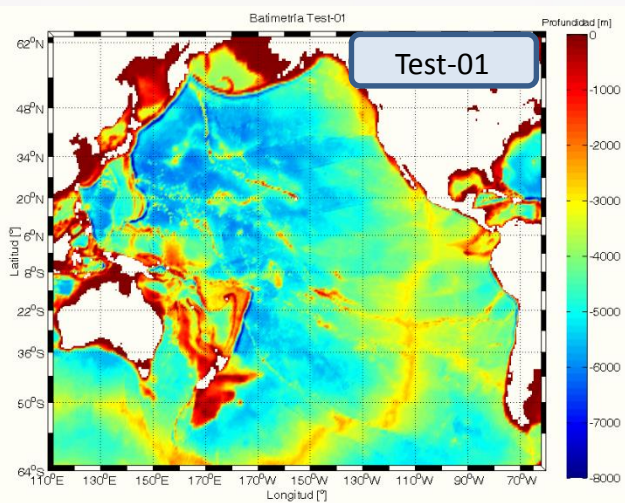
Calibración en tres etapas:

- Resolución y extensión dominio computacional
- Selección de esquemas y parametrizaciones físicas
- Selección de forzantes y calibración de parametrizaciones

Periodos de simulación	1981 a 1985
	1992 a 1993
	2000 a 2003
	2007 a 2013



RESOLUCIÓN Y EXTENSIÓN DEL DOMINIO



Escenario	Resolución	Rango longitud [°]	Rango latitud [°]	Cantidad de puntos de malla	Cantidad de puntos activos	Fuente batimetría	Fuente línea de costa y sub-mallas
Test-01	0.5° x 0.5°	-64 a 64	110 a 300	97660	75585	Etopo2v2	GSHHG/Full
Test-02	0.5° x 0.5°	-75 a 75	110 a 300	114380	85375	Etopo2v2	GSHHG/Full
Test-03	1° x 1°	-64 a 64	110 a 300	24510	18765	Etopo2v2	GSHHG/Full
Test-04	1° x 1°	-75 a 75	110 a 300	28690	20854	Etopo2v2	GSHHG/Full

Resolución espectral	29 frecuencias , 24 direcciones
Frecuencia inicial	0.0345 s
Frecuencia final	0.4975 s
Dirección inicial	7.5°
Dirección final	352.5°
Forzantes	ERA-Interim
Compilación modelo	Switch Ifremer
Periodo de simulación	01/01/2013 hasta 31/12/2013

Escenario base

ESQUEMAS Y PARAMETRIZACIONES FÍSICAS

Escenario	Término inicialización (S_{in})	Paquete de crecimiento y disipación (S_{in})	Interacciones no lineales (S_{nl})	Técnica de alivio de GSE y esquema de propagación
Test-08	SEED	ST1	DIA	PR3 / UQ
Test-09	SEED	ST2/STAB2	DIA	PR3 / UQ
Test-10	SEED	ST3/STAB3	DIA	PR3 / UQ
Test-11	SEED	ST4	DIA	PR3 / UQ
Test-12	SEED	ST6	DIA	PR3 / UQ
Test-13	SEED	ST4	GMD	PR3 / UQ
Test-14	SEED	ST4	DIA	PR2 / UQ
Test-15	LN1	ST4	DIA	PR3 / UQ

Periodos de simulación	1981 a 1985
	1992 a 1993
	2000 a 2003
	2007 a 2013

Nombre	Zona	Ubicación		Fuente
		Lat. [°]	Lon. [°]	
B1	NORTE	-19.37	-84.37	NOAA-NDBC
S1	NORTE	-19.37	-84.37	ESA Globwave
B2	CENTRO	-32.99	-71.82	SHOA
S2	CENTRO	-32.99	-71.82	ESA Globwave
B3	CENTRO	-32.93	-71.67	SHOA
S3	CENTRO	-32.93	-71.67	ESA Globwave
B5	CENTRO	-XX.XX	-XX.XX	CORFO-INNOVA
S5	CENTRO	-XX.XX	-XX.XX	ESA Globwave
B7	SUR	-XX.XX	-XX.XX	CORFO-INNOVA
S7	SUR	-XX.XX	-XX.XX	ESA Globwave
B8	SUR	-XX.XX	-XX.XX	CORFO-INNOVA
S8	SUR	-XX.XX	-XX.XX	ESA Globwave

FORZANTES Y CALIBRACIÓN DE ESQUEMAS Y PARAMETRIZACIONES FÍSICAS

Escenario	Crecimiento S_{in}		Disipación S_{ds}		Forzante
	$Betamax$	$Z_{0,max}$	C_{ds}^{sat}	B_r	
Test-11¥	1.52	1.002	-0.000022	0.0009	ERA
Test-16	1.15	1.002	-0.000022	0.0009	ERA
Test-17	1.33	1.002	-0.000022	0.0009	ERA
Test-18	1.425	1.002	-0.000022	0.0009	ERA
Test-19	1.52	1.002	-0.000022	0.0008	ERA
Test-20	1.425	1.002	-0.000022	0.00085	ERA
Test-21	1.4	1.002	-0.000022	0.00085	ERA
Test-22	1.52	1.002	-0.00003	0.0009	ERA
Test-23¥	1.52	1.002	-0.000022	0.0009	ERA
Test-24	1.52	1.01	-0.000022	0.0009	ERA
Test-07B	1.33	1.002	-0.000022	0.0009	CFSR y CFSv2
Test-08B	1.52	1.002	-0.000022	0.0009	CFSR y CFSv2
Test-09B	1.4	1.002	-0.000022	0.0009	CFSR y CFSv2
Test-10B	1.2	1.002	-0.000022	0.0009	CFSR y CFSv2

¥, La diferencia entre el Test-11 y el Test-23 es el paso de tiempo del modelo.
Para el segundo se utiliza un paso de tiempo global de 3600 segundos

Periodos de simulación	1981 a 1985
	1992 a 1993
	2000 a 2003
	2007 a 2013

Nombre	Zona	Ubicación		Fuente
		Lat.[°]	Lon.[°]	
B1	Norte	-19.37	-84.37	NOAA-NDBC
S2	Norte	-19	-72	ESA Globwave
S3	Norte	-20	-72	ESA Globwave
S4	Norte	-22	-72	ESA Globwave
S5	Norte	-23.5	-71.5	ESA Globwave
S6	Norte	-25	-72	ESA Globwave
B2	Centro	-32.99	-71.82	SHOA
B3	Centro	-32.93	-71.67	SHOA
B5	Centro	-XX.XX	-XX.XX	CORFO-INNOVA
S10	Centro	-28	-72.5	ESA Globwave
S11	Centro	-31	-73	ESA Globwave
S12	Centro	-35	-73.5	ESA Globwave
S13	Centro	-38	-74.5	ESA Globwave
B7	Centro	-XX.XX	-XX.XX	CORFO-INNOVA
B8	Centro	-XX.XX	-XX.XX	CORFO-INNOVA
S16	Centro	-40	-74.5	ESA Globwave
S17	Centro	-42	-75	ESA Globwave
S18	Sur	-44	-76.5	ESA Globwave
S19	Sur	-46	-77.5	ESA Globwave
S20	Sur	-48	-77.5	ESA Globwave
S21	Sur	-53	-76	ESA Globwave
S22	Sur	-57	-68	ESA Globwave
S23	Insular	-27	-110	ESA Globwave
S24	Insular	-34	-81	ESA Globwave

CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

- Establecer un **único valor** que permita estimar la **calidad** de los escenarios de simulación.
- Único valor = “Índice de Desempeño Único (IDU)”.
- **Combinación lineal** de **indicadores estadísticos normalizados** sobre la base de un **análisis multicriterio**, que tiene por objetivo establecer **factores de importancia** a cada **estadígrafo**, tipo de **análisis y parámetro de oleaje**.

Indicadores estadísticos de tendencia central

Indicador Estadístico	Ecuación
Error absoluto medio (MAE)	$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i - O_i $
Error cuadrático medio (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$
Error medio (BIAS)	$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i - O_i$
Índice de SS (SS)	$SS = 1 - \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N O_i^2}}$
Coefficiente de determinación (R ²)	$R^2 = \frac{Cov(O, P)^2}{s_o^2 s_p^2}$

Donde $Cov(O, P)$ es la covarianza entre O y P y S_o, S_p desviaciones típicas de O y P respectivamente.

Promedio de la diferencia entre alturas extremas (PDAExt)

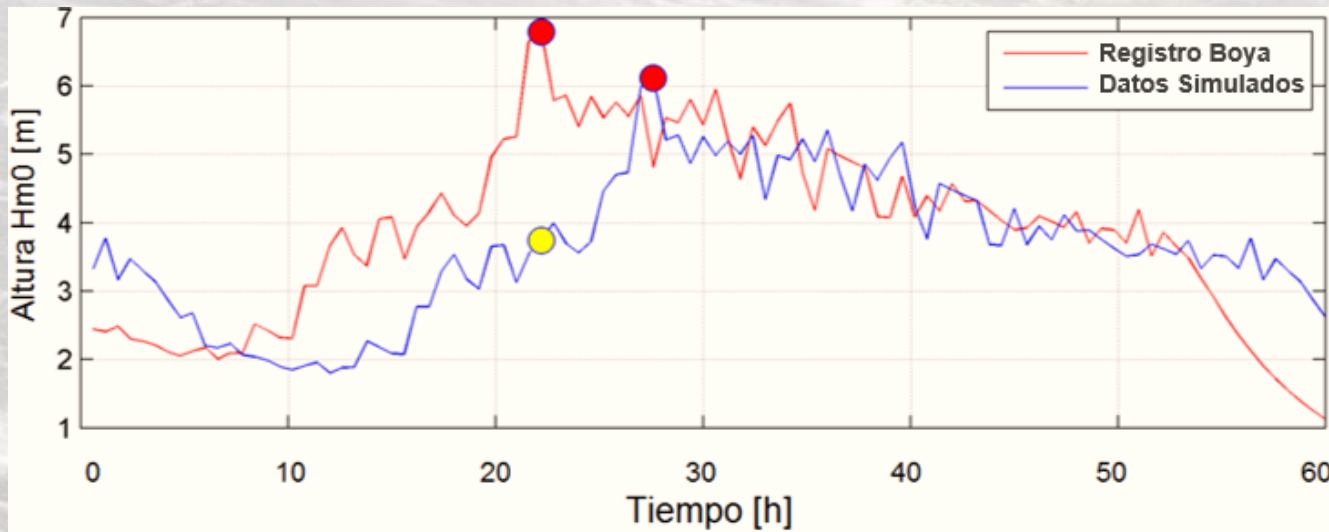
Promedio de las diferencias entre las alturas máximas registradas por la boy, obtenidas mediante la metodología Peak Over Threshold (POT), y la máximas alturas simuladas contenidas dentro de una ventana de tiempo de 1.5 días antes y 1.5 días después de la fecha de cada evento extremo registrado por la boy y obtenido mediante POT (Figura 4-6).

P_i y O_i corresponden a los datos modelados y observados en el instante i respectivamente, mientras que N es la cantidad de datos coincidentes y comparables en ambas series



CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

- Establecer un **único valor** que permita estimar la **calidad** de los escenarios de simulación.
- Único valor = “Índice de Desempeño Único (IDU)”.
- **Combinación lineal** de **indicadores estadísticos normalizados** sobre la base de un **análisis multicriterio**, que tiene por objetivo establecer **factores de importancia** a cada **estadígrafo**, tipo de **análisis** y **parámetro de oleaje**.



Desfase temporal de la altura máxima simulada y registrada por la boya. Los círculos rojos indican las alturas máximas. El círculo amarillo muestra la altura simulada coincidente en el tiempo con la máxima altura registrada por la boya.

CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

- Establecer un **único valor** que permita estimar la **calidad** de los escenarios de simulación.
- Único valor = “Índice de Desempeño Único (**IDU**)”.
- **Combinación lineal** de **indicadores estadísticos normalizados** sobre la base de un **análisis multicriterio**, que tiene por objetivo establecer **factores de importancia** a cada **estadígrafo**, tipo de **análisis** y **parámetro de oleaje**.

Indicadores Estadísticos Circulares	Ecuación
Error absoluto medio (MAE)	$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i \in I} O_i - P_i + \frac{1}{N} \sum_{i \in I^c} (360 - O_i - P_i)$ <p>Donde $I = \{i \in \{1,2,3, \dots, N\} / O_i - P_i \leq 180\}$ y $I^c = \{1,2,3, \dots, N\} \setminus I$</p>
Error cuadrático medio (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i \in I} (O_i - P_i)^2 + \frac{1}{N} \sum_{i \in I^c} (360 - O_i - P_i)^2}$ <p>Donde $I = \{i \in \{1,2,3, \dots, N\} / O_i - P_i \leq 180\}$ y $I^c = \{1,2,3, \dots, N\} \setminus I$</p>
Coefficiente de determinación (R^2)	$R^2 = \left(\frac{4 \left[\left(\sum_{i=1}^N \cos O_i \cos P_i \right) \left(\sum_{i=1}^N \sin O_i \sin P_i \right) - \left(\sum_{i=1}^N \cos O_i \sin P_i \right) \left(\sum_{i=1}^N \sin O_i \cos P_i \right) \right]}{\left[N^2 - \left(\sum_{i=1}^N \cos (2O_i) \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^N \sin (2O_i) \right)^2 \right] \left[N^2 - \left(\sum_{i=1}^N \cos (2P_i) \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^N \sin (2P_i) \right)^2 \right]} \right)^2$

Indicadores de estadística circular (Zar, 1998)

P_i y O_i corresponden a los datos modelados y observados en el instante i respectivamente, mientras que N es la cantidad de datos coincidentes y comparables en ambas series

CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Clima Medio

- Comparación de datos simulados coincidentes en el tiempo con mediciones de boyas.
- Comparación de datos simulados coincidentes en el tiempo con mediciones de satelitales.
- Comparación de casos representativos de grupos de datos (clústeres) obtenidos de registros de boya, mediante la metodología *Maximum Dissimilarity Algorithm (MDA)* (Camus et al., 2011), con datos simulados coincidentes en el tiempo.

Clima Extremo

- Comparación de datos simulados coincidentes en el tiempo con mediciones de boyas, cuyas alturas se encuentren sobre el percentil 95 ($H_{m0} > H_{m0_{95\%}}$).
- Comparación de datos simulados coincidentes en el tiempo con mediciones de satélites, cuyas alturas se encuentren sobre el percentil 95 ($H_{m0} > H_{m0_{95\%}}$).
- Comparación de eventos extremos seleccionados de registros de boya, mediante la metodología *Peak Over Threshold (POT)*, con las máximas alturas obtenidas de las simulaciones, dentro de una ventana de tiempo de ± 1.5 días respecto a la fecha de cada evento extremo registrado por la boya.

PASO 1: Definición de casos de comparación

CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Cálculo de indicadores estadísticos de tendencia central y estadística circular para todos los casos definidos en el paso 1, salvo para el caso tres de clima extremo. En este último se determinará el indicador *PDAExt*.

PASO 2: Cálculo de Indicadores

$$X_{i-norm} = \frac{X_i - \min(X)}{\max(X) - \min(X)};$$

$0 \leq X_{i-norm} \leq 1$, Para R^2 y SS

$$X_{i-norm} = 1 - \frac{X_i - \min(X)}{\max(X) - \min(X)};$$

$0 \leq X_{i-norm} \leq 1$, Para MAE y $RMSE$

$$X_{i-norm} = 1 - \frac{X_i - \min(\text{abs}(X))}{\max(\text{abs}(X)) - \min(\text{abs}(X))};$$

$0 \leq X_{i-norm} \leq 1$, Para $BIAS$ y $PDAExt$

PASO 3: Normalización de indicadores estadísticos

CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

- Asignación de un factor de importancia relativa a cada indicador estadístico.
- Asignación de un factor de importancia relativa para cada método de comparación expuesto en el Paso 1.
- Asignación de un factor de importancia relativa a los parámetros de resumen H_{m0} , T_m y D_m .

PASO 4: Asignación de factores de importancia

Parámetros Oleaje	Factor de Importancia
Hm0	0.33
Tm	0.33
Dm	0.33
Total Σ	1
Indicador estadístico	Factor de Importancia
MAE	0.2
RMSE	0.2
BIAS	0.2
SS	0.2
R ²	0.2
Total Σ	1
Tipo de comparación	Factor de Importancia
Global [Boyas] [Allb]	0.16
P95 [Boyas] [5%b]	0.14
Global [Satélites] [Alls]	0.14
P95 [Satélites] [5%s]	0.14
Clúster clima medio [Boyas] [3bMDA]	0.14
POT clima extremo [Boyas] [3b]	0.14
PDAExt [Boyas] [MAE_ext]	0.14
Total Σ	1

Factores de importancia para la etapa de selección de esquemas y parametrizaciones físicas

CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

- Asignación de un factor de importancia relativa a cada indicador estadístico.
- Asignación de un factor de importancia relativa para cada método de comparación expuesto en el Paso 1.
- Asignación de un factor de importancia relativa a los parámetros de resumen H_{m0} , T_m y D_m .

PASO 4: Asignación de factores de importancia

	Global	Solo Clima Extremo	Solo Clima Medio	Global Mayor Ponderación Hm0
Parámetros Oleaje	Factor de Importancia	Factor de Importancia	Factor de Importancia	Factor de Importancia
H_{m0}	0.33	0.33	0.33	0.5
T_m	0.33	0.33	0.33	0.25
D_m	0.33	0.33	0.33	0.25
Total Σ	1	1	1	1
Indicador estadístico	Factor de Importancia	Factor de Importancia	Factor de Importancia	Factor de Importancia
MAE	0.2	0.2	0.2	0.2
$RMSE$	0.2	0.2	0.2	0.2
$BIAS$	0.2	0.2	0.2	0.2
$Skill$	0.2	0.2	0.2	0.2
R^2	0.2	0.2	0.2	0.2
Total Σ	1	1	1	1
Tipo de comparación	Factor de Importancia	Factor de Importancia	Factor de Importancia	Factor de Importancia
Global [Boyas] [Allb]	0.16	0	0.33	0.16
P95 [Boyas] [5%b]	0.14	0.25	0	0.14
Global [Satélites] [Alls]	0.14	0	0.33	0.14
P95 [Satélites] [5%s]	0.14	0.25	0	0.14
Clúster clima medio [Boyas] [3bMDA]	0.14	0	0.33	0.14
POT clima extremo [Boyas] [3b]	0.14	0.25	0	0.14
PDAExt [Boyas] [MAE_ext]	0.14	0.25	0	0.14
Total Σ	1	1	1	1

Factores de importancia para la etapa de selección de forzantes y calibración de parametrizaciones físicas

CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Mediante una combinación lineal entre los métodos de comparación y los factores de importancia relativa se cuantifica el desempeño de los escenarios de simulación obteniendo una nota entre 0 y 1 para cada escenario.

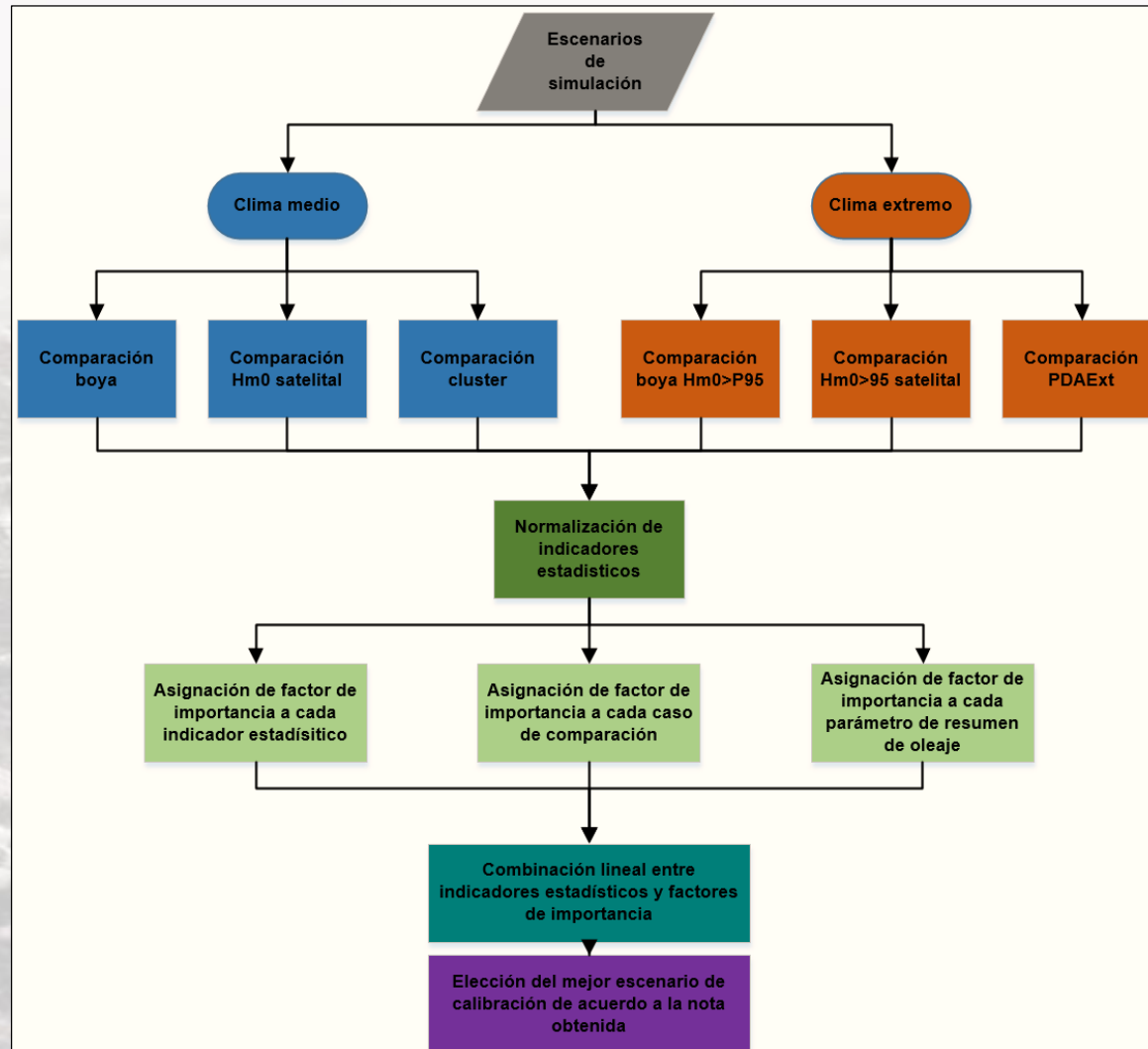
$$IDU_{(i,k,l)}^{EP} = \sum_{j=1}^5 \omega_{(j)}^{EP} \times X_{norm(i,j,k,l)} \quad \text{con } j = MAE, R^2, RMSE, SS, BIAS$$

$$IDU_{(i,l)}^{WP} = \sum_{k=1}^3 \omega_{(k)}^{WP} \times IDU_{(i,k,l)}^{EP} \quad \text{con } k = H_{m0}, T_m, D_m$$

$$IDU_{(i)}^{TD} = \sum_{l=1}^7 \omega_{(l)}^{TD} \times IDU_{(i,l)}^{WP} \quad \text{con } l = Allb, Alls, 5\%b, 5\%s, 3bMDA, 3b, MAE_{ext}$$

i representa cada escenario, j es cada indicador estadístico, k cada parámetro de oleaje, l cada tipo de análisis realizado, $\omega_{(j)}^{EP}$ es el peso asignado a cada indicador estadístico. $\omega_{(k)}^{WP}$ es el peso asignado a cada parámetro de oleaje y $\omega_{(l)}^{TD}$ el peso asignado a cada tipo de comparación realizada.

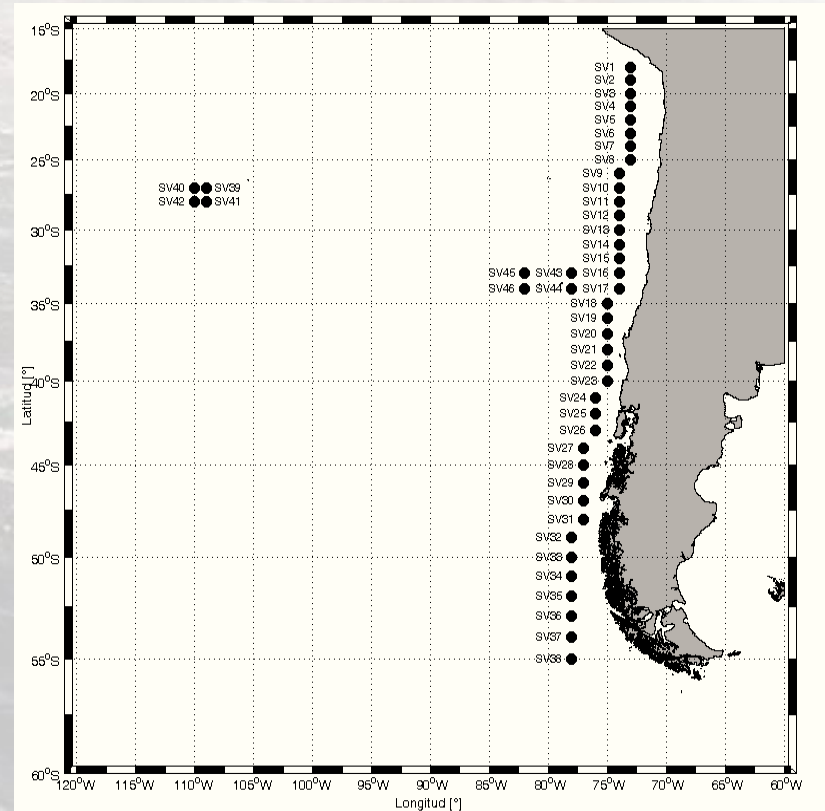
CUANTIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN



VALIDACIÓN

- Comparación de espectros registrados por la boya B5 y espectros obtenidos a partir del modelo calibrado
 - Aplicación del indicador *RMSE* y *BIAS* a los espectros promediados en el tiempo
 - Comparación cualitativa de la forma espectral mediante la aplicación de envolventes y percentiles de componentes de frecuencia y dirección del espectro
- Comparación de H_{m0} obtenidas de altímetros satelitales en 46 nodos ubicados frente a las costas de Chile continental e insular.

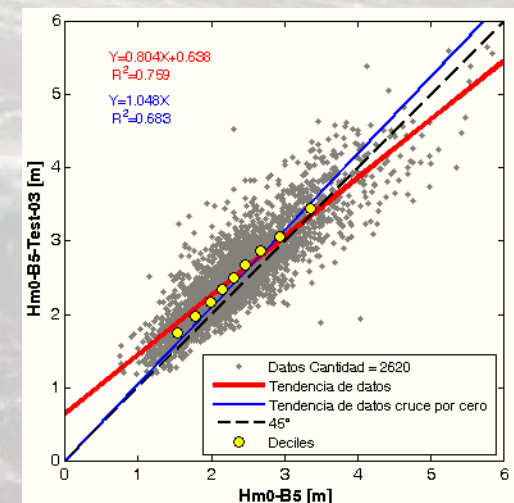
Satélite Validación #	Ubicación		Satélite Validación #	Ubicación	
	Latitud [°]	Longitud [°]		Latitud [°]	Longitud [°]
SV1	-18	-73	SV24	-41	-76
SV2	-19	-73	SV25	-42	-76
SV3	-20	-73	SV26	-43	-76
SV4	-21	-73	SV27	-44	-77
SV5	-22	-73	SV28	-45	-77
SV6	-23	-73	SV29	-46	-77
SV7	-24	-73	SV30	-47	-77
SV8	-25	-73	SV31	-48	-77
SV9	-26	-74	SV32	-49	-78
SV10	-27	-74	SV33	-50	-78
SV11	-28	-74	SV34	-51	-78
SV12	-29	-74	SV35	-52	-78
SV13	-30	-74	SV36	-53	-78
SV14	-31	-74	SV37	-54	-78
SV15	-32	-74	SV38	-55	-78
SV16	-33	-74	SV39	-27	-109
SV17	-34	-74	SV40	-27	-110
SV18	-35	-75	SV41	-28	-109
SV19	-36	-75	SV42	-28	-110
SV20	-37	-75	SV43	-33	-78
SV21	-38	-75	SV44	-34	-78
SV22	-39	-75	SV45	-33	-82
SV23	-40	-75	SV46	-34	-82



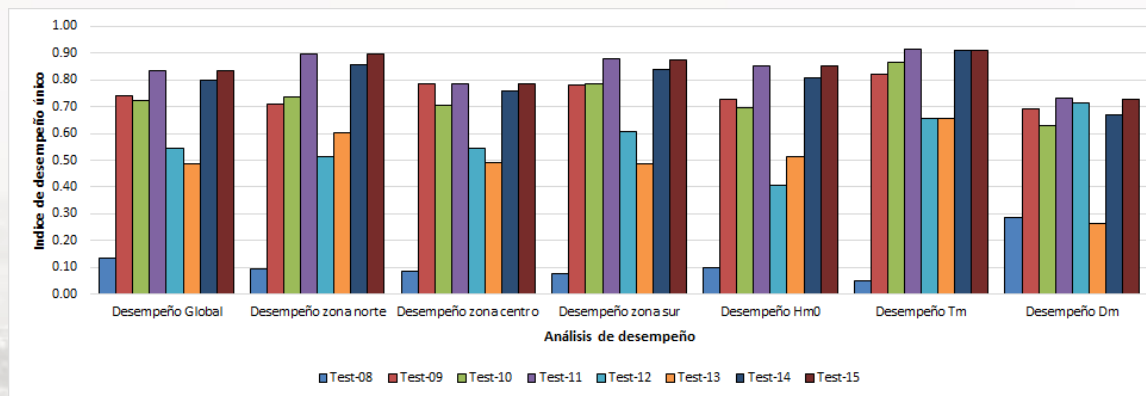
RESOLUCIÓN Y EXTENSIÓN DEL DOMINIO

	B1				B5				B8			
	Test-01	Test-02	Test-03	Test-04	Test-01	Test-02	Test-03	Test-04	Test-01	Test-02	Test-03	Test-04
N° Datos	2916				2620				1405			
Hm0												
MAE [m]	0.202	0.204	0.205	0.204	0.400	0.401	0.307	0.302	0.400	0.417	0.284	0.277
RMSE [m]	0.255	0.256	0.253	0.254	0.498	0.497	0.392	0.397	0.482	0.501	0.353	0.359
BIAS [m]	0.091	0.093	0.106	0.098	0.334	0.332	0.168	0.149	0.328	0.346	0.096	0.134
R ²	0.874	0.871	0.879	0.875	0.757	0.755	0.759	0.755	0.855	0.847	0.870	0.867
Tm												
MAE [s]	0.483	0.484	0.464	0.470	0.793	0.788	0.844	0.843	0.689	0.733	0.656	0.671
RMSE [s]	0.685	0.687	0.657	0.664	1.029	1.030	1.056	1.058	0.925	0.982	0.868	0.887
BIAS [s]	-0.064	-0.036	-0.076	-0.051	-0.129	-0.086	-0.355	-0.322	0.369	0.468	0.175	0.223
R ²	0.750	0.750	0.764	0.761	0.552	0.555	0.563	0.563	0.705	0.701	0.700	0.702
Dm												
MAE [°]	26.011	26.037	26.089	26.131	13.855	14.250	13.154	13.532	10.769	11.561	9.065	9.528
RMSE [°]	34.094	34.116	34.176	34.228	16.598	16.966	15.902	16.289	13.646	14.430	11.739	12.197
BIAS [°]	-17.346	-17.426	-17.534	-17.638	-12.702	-13.234	-11.575	-12.106	-9.265	-10.311	-6.775	-7.524
R ²	0.408	0.409	0.411	0.412	0.472	0.471	0.470	0.467	0.736	0.733	0.756	0.756

Escenario	Resolución	Latitud	Longitud	Puntos activos	Tiempo por año de simulación [h:min]	RMSE	RMSE	RMSE	BIAS
						H _{m0} [m]	T _m [s]	D _m [°]	H _{m0} [m]
Test-01	0.5° x 0.5°	64°N – 64°S	110°E – 60°W	75585	13:17	0.41	0.88	21.4	0.25
Test-02	0.5° x 0.5°	75°N – 75°S	110°E – 60°W	85375	22:23	0.42	0.90	21.8	0.26
Test-03	1.0° x 1.0°	64°N – 64°S	110°E – 60°W	18765	02:10	0.33	0.86	20.6	0.12
Test-04	1.0° x 1.0°	75°N – 75°S	110°E – 60°W	20854	03:39	0.34	0.87	20.9	0.13



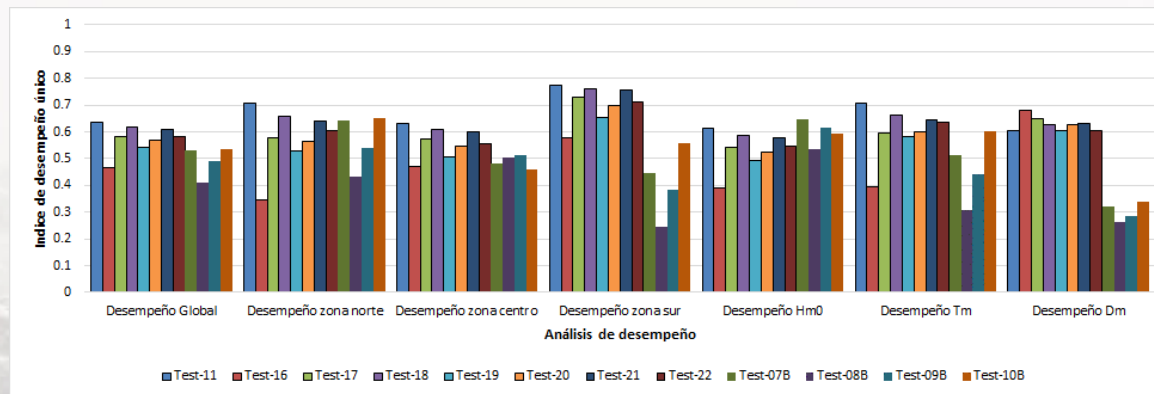
ESQUEMAS Y PARAMETRIZACIONES FÍSICAS



Escenario	Término de inicialización (S_{in})	Crecimiento y disipación (S_{in})	Interacciones no lineales (S_{nl})	Esquema de propagación y técnica de Alivio de GSE	$MP_{(i)}^{STD}$
Test-08	SEED	ST1	NL2	PR3 / UQ	0.134
Test-09	SEED	ST2/STAB2	NL2	PR3 / UQ	0.742
Test-10	SEED	ST3/STAB3	NL2	PR3 / UQ	0.722
Test-11	SEED	ST4	NL2	PR3 / UQ	0.837
Test-12	SEED	ST6	NL2	PR3 / UQ	0.545
Test-13	SEED	ST4	NL3	PR3 / UQ	0.487
Test-14	SEED	ST4	NL2	PR2 / UQ	0.800
Test-15	LN1	ST4	NL2	PR3 / UQ	0.835

Ranking de desempeño	Escenario Global		Escenario Hm0		Escenario Tm		Escenario Dm	
	IDU	Test	IDU	Test	IDU	Test	IDU	Test
1	0.837	Test-11	0.851	Test-11	0.914	Test-11	0.730	Test-11
2	0.835	Test-15	0.851	Test-15	0.912	Test-14	0.730	Test-15
3	0.800	Test-14	0.809	Test-14	0.909	Test-15	0.668	Test-14

FORZANTES Y CALIBRACIÓN DE ESQUEMAS Y PARAMETRIZACIONES FÍSICAS



	Ranking de desempeño	Escenario Global		Escenario Hm0		Escenario Tm		Escenario Dm	
		IDU	Test	IDU	Test	IDU	Test	IDU	Test
Global	1	0.63	Test-11	0.65	Test-07_B	0.7	Test-11	0.68	Test-16
	2	0.62	Test-18	0.62	Test-09_B	0.66	Test-18	0.65	Test-17
	3	0.61	Test-21	0.61	Test-11	0.65	Test-21	0.63	Test-21
Clima Extremo	1	0.52	Test-11	0.73	Test-08_B	0.59	Test-11	0.59	Test-16
	2	0.47	Test-18	0.69	Test-07_B	0.49	Test-10_B	0.53	Test-17
	3	0.46	Test-21	0.67	Test-09_B	0.48	Test-18	0.51	Test-21
Clima Medio	1	0.72	Test-11	0.74	Test-18	0.76	Test-11	0.72	Test-16
	2	0.72	Test-21	0.74	Test-21	0.74	Test-18	0.69	Test-17
	3	0.72	Test-18	0.73	Test-22	0.74	Test-21	0.68	Test-21
Global Mayor Ponderación Hm0	1	0.63	Test-11	0.64	Test-07_B	0.7	Test-11	0.67	Test-16
	2	0.62	Test-18	0.61	Test-09_B	0.66	Test-18	0.64	Test-17
	3	0.61	Test-21	0.6	Test-11	0.64	Test-21	0.63	Test-21

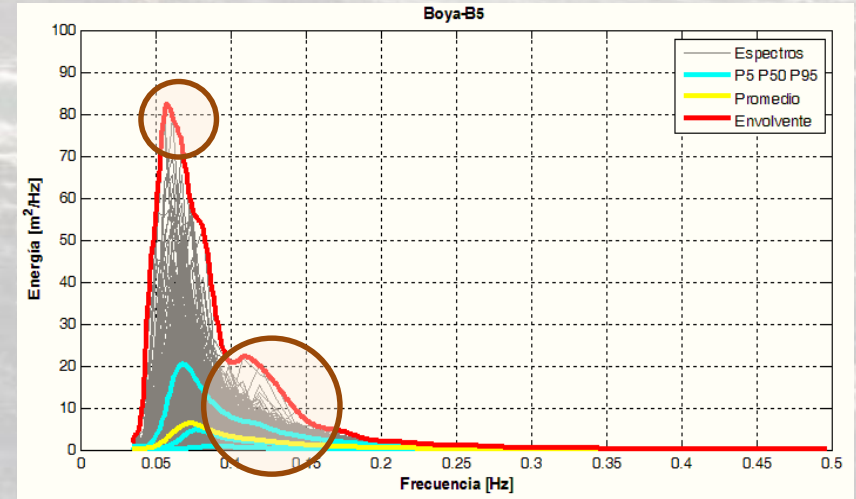
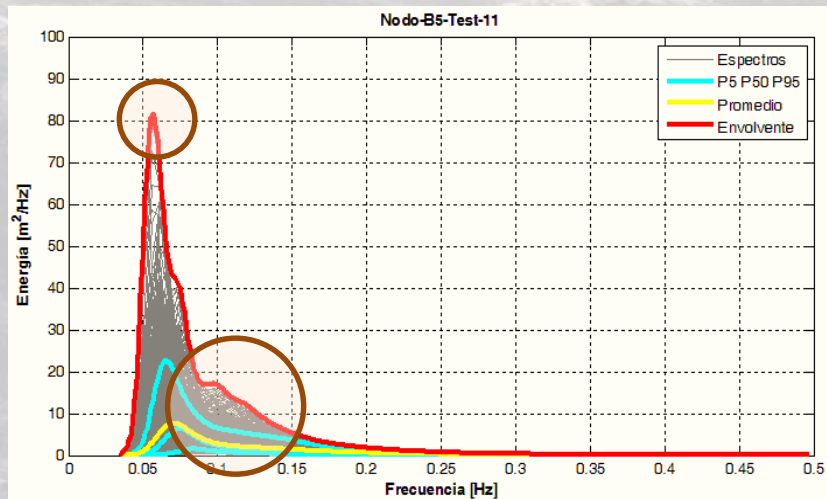
FORZANTES Y CALIBRACIÓN DE ESQUEMAS Y PARAMETRIZACIONES FÍSICAS

Test	Crecimiento S_{in}		Disipación S_{ds}		Forzante	Model performance criteria $MPS_{(i)}^{TD}$			
	β_{max}	$Z_{0,max}$	C_{ds}^{sat}	B_r		Global	Clima extremo	Clima medio	Global mejorado
Test-11 ^(1,2)	1.520	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00090	ERA-Interim	0.634	0.511	0.708	0.634
Test-16	1.150	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00090	ERA-Interim	0.485	0.270	0.629	0.465
Test-17	1.330	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00090	ERA-Interim	0.589	0.409	0.704	0.582
Test-18	1.425	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00090	ERA-Interim	0.620	0.470	0.714	0.617
Test-19	1.520	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00080	ERA-Interim	0.554	0.357	0.683	0.543
Test-20	1.425	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00085	ERA-Interim	0.578	0.393	0.698	0.570
Test-21	1.400	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00085	ERA-Interim	0.613	0.454	0.713	0.609
Test-22	1.520	1.002	-3.0×10^{-5}	0.00090	ERA-Interim	0.590	0.414	0.703	0.584
Test-23 ⁽¹⁾	1.520	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00090	ERA-Interim	0.634	0.511	0.708	0.634
Test-24	1.520	1.010	-2.2×10^{-5}	0.00090	ERA-Interim	0.633	0.511	0.708	0.633
Test-07B	1.330	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00090	CFSR-CFSv2	0.489	0.413	0.534	0.532
Test-08B	1.520	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00090	CFSR-CFSv2	0.365	0.326	0.353	0.410
Test-09B	1.400	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00090	CFSR-CFSv2	0.443	0.359	0.476	0.489
Test-10B	1.200	1.002	-2.2×10^{-5}	0.00090	CFSR-CFSv2	0.508	0.376	0.578	0.533

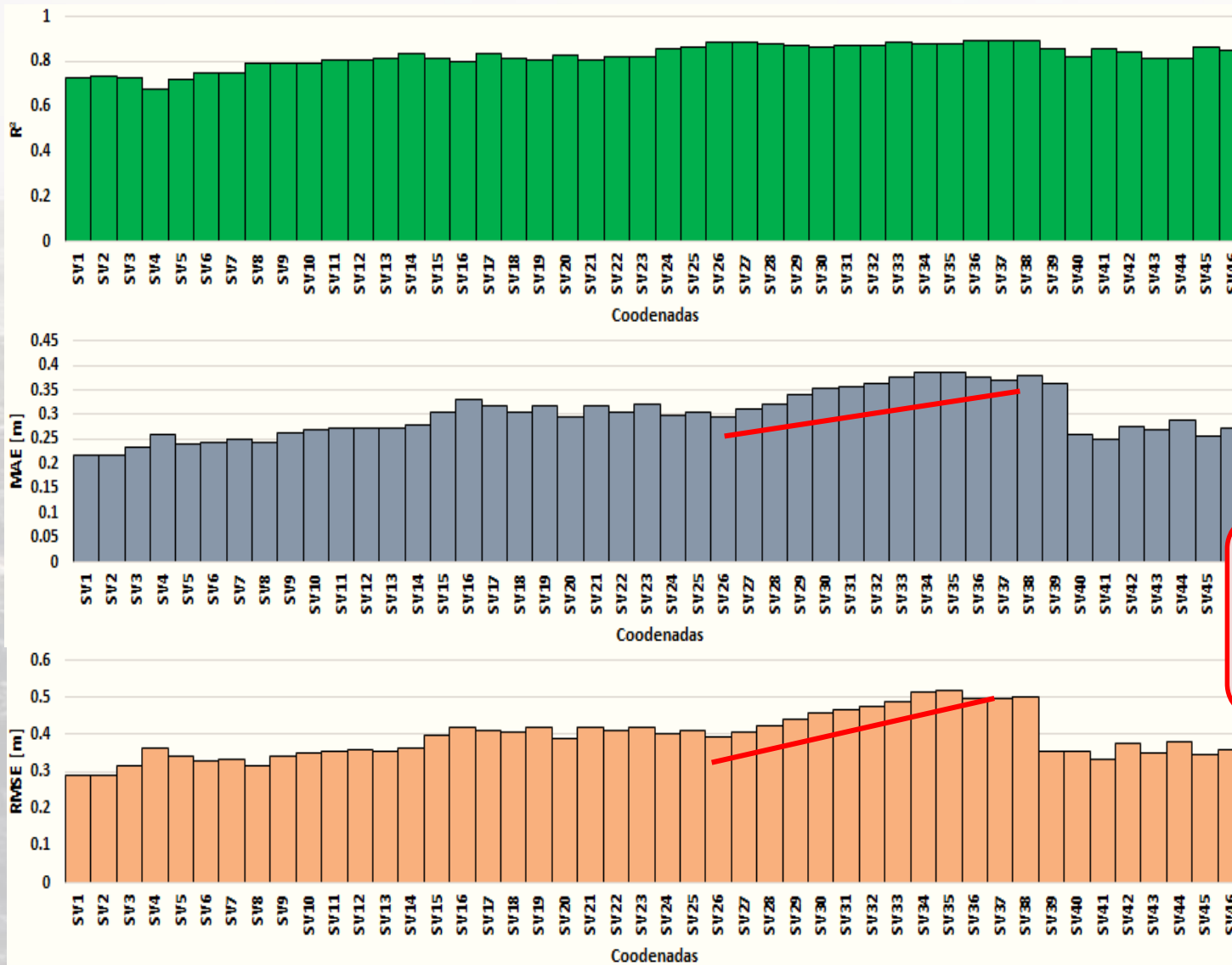
VALIDACIÓN

	B1	B2	B3	B5	B7	B8
H_{m0}						
N° Datos	15792	3207	4250	5001	793	1685
MAE	0.21	0.33	0.34	0.30	0.25	0.28
RMSE	0.27	0.43	0.43	0.40	0.34	0.36
BIAS	0.11	0.23	0.23	0.15	0.02	0.12
Skill	0.89	0.83	0.81	0.84	0.87	0.86
R ²	0.86	0.75	0.73	0.76	0.79	0.87
T_m						
MAE	0.45		2.58	0.83	0.62	0.63
RMSE	0.62		2.83	1.07	0.83	0.84
BIAS	0.09	Sin Datos	2.55	0.23	0.21	0.16
Skill	0.92		0.73	0.87	0.90	0.90
R ²	0.78		0.54	0.57	0.78	0.73
D_m						
MAE		7.76	9.77	13.13	7.13	9.44
RMSE		9.92	12.81	15.86	10.61	12.66
BIAS	Sin Datos	5.90	4.99	11.72	2.89	7.00
Skill		0.56	0.43	0.30	0.53	0.44
R ²		0.66	0.61	0.53	0.74	0.79

Adecuada representación de la frecuencia peak.
Tendencia a subestimar la energía entre los 0.1 y 0.2 Hz



VALIDACIÓN



Tendencia al aumento del MAE y RMSE en latitudes altas.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Relativo a la selección del dominio computacional y batimétrico

- El uso de batimetrías de distinta resolución (0.5° y 1°) y extensión, no produce un impacto significativo en los resultados de las simulaciones. Los tiempos de cálculo con mallas de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ascienden a 22.5 horas por año de simulación en comparación a las 2.2 horas por un escenario con malla $1^\circ \times 1^\circ$.

Relativo a la selección de parametrizaciones físicas

- El paquete de parametrizaciones del proceso de aporte y disipación de la energía debido al viento ST1 (S_{in} y S_{ds}), presenta el desempeño más bajo.
- La utilización de los switches asociados a la parametrización del proceso de aporte lineal de energía debido al viento (S_{ln}) LN1 o SEED, no produce un impacto significativo en los resultados de las simulaciones.
- Si bien, el método de estimación de transferencia de energía dentro del espectro de olas, debido a interacciones no lineales entre cuádrupletas (S_{nl}), mediante el método GMD (Switch NL3), presenta mejoras en la parametrización del proceso físico, respecto al método DIA (Switch NL1), los mejores ajustes de los resultados del modelo con las mediciones fueron obtenidos tras la utilización de este último.
- El paquete de parametrizaciones de los términos S_{in} y S_{ds} ST4, es el que presenta un mejor desempeño en la representación del clima medio y extremo de oleaje frente a las costas de Chile.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Relativo al ajuste de parámetros adimensionales de las parametrizaciones de los procesos físicos y a la selección de la base de datos de forzantes del modelo

- La modificación del límite de aporte de energía debido al viento ($Z_{0,max}$), no influye de manera significativa en los resultados de las simulaciones.
- En general, la modificación de los parámetros adimensionales no influye de manera significativa en los resultados de las variables T_m y D_m .
- La modificación del parámetro β_{max} , altera considerablemente los resultados del modelo. El aumento del valor de este parámetro β_{max} , repercute en un aumento de la altura H_{m0} . Se observó que el aumento de β_{max} , mejora el desempeño en la representación de alturas H_{m0} más energéticas (eventos extremos), sin afectar de forma significativa la representación de H_{m0} clasificadas como clima medio.
- Los escenarios de calibración forzados con ERA-Interim, tienden a subestimar las alturas H_{m0} en relación a los escenarios forzados con datos del reanálisis CFSR. Adicionalmente, se observó que los modelos forzados con datos ERA-Interim, tienden a presentar un mejor desempeño en la estimación del clima medio de oleaje, mientras que los escenarios forzados con datos CFSR, tienden a presentar un mejor desempeño para datos de clima extremo.
- El escenario que presentó un mejor desempeño global, en relación a los demás escenarios planteados, fue el Test-11 que corresponde al escenario definido en base a las recomendaciones expuestas en Ardhuin et al (2011).

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Trabajos futuros

- Aumentar la resolución del dominio computacional en las cercanías de la costa sudamericana empleando una técnica de anidamiento bidireccional.
- Aumentar el valor del parámetro β_{max} , de tal forma de mantener la calidad de los resultados del modelo en la representación del clima medio y aumentar en clima extremo.
- Sensibilizar otros coeficientes de las parametrizaciones físicas del paquete de términos fuentes ST4.
- Calibrar una base de datos especial para la representación del clima extremo.
- Evaluar la calidad de los vientos reanalizados respecto a mediciones. Posibilidad de asimilar información de viento para generar un mejor *Input* para el modelo Wavewatch III.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento entregado por el programa Fondef-IDeA de CONICYT y al equipo del proyecto compuesto por la Dirección de Obras Portuarias, APuerto Ingeniería y la Universidad de Valparaíso a través de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica y el Centro de Investigación y Modelamiento de Fenómenos Aleatorios – Valparaíso, al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada y al Proyecto Corfo-INNOVA 09CN14-5718 “Catastro del recurso energético asociado a oleaje para el apoyo a la evaluación de proyectos de generación de energía undimotriz”.



An aerial photograph of a vast, hilly landscape. The terrain is covered in dense vegetation, appearing as a mix of green and brownish tones. The hills are rolling and interconnected, creating a complex pattern of ridges and valleys. The sky above is a pale, hazy blue, suggesting a bright but slightly overcast day. The overall scene is a wide, panoramic view of a natural, undisturbed landscape.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN