

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
VII SEMINARIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y OPERACIÓN PORTUARIA**

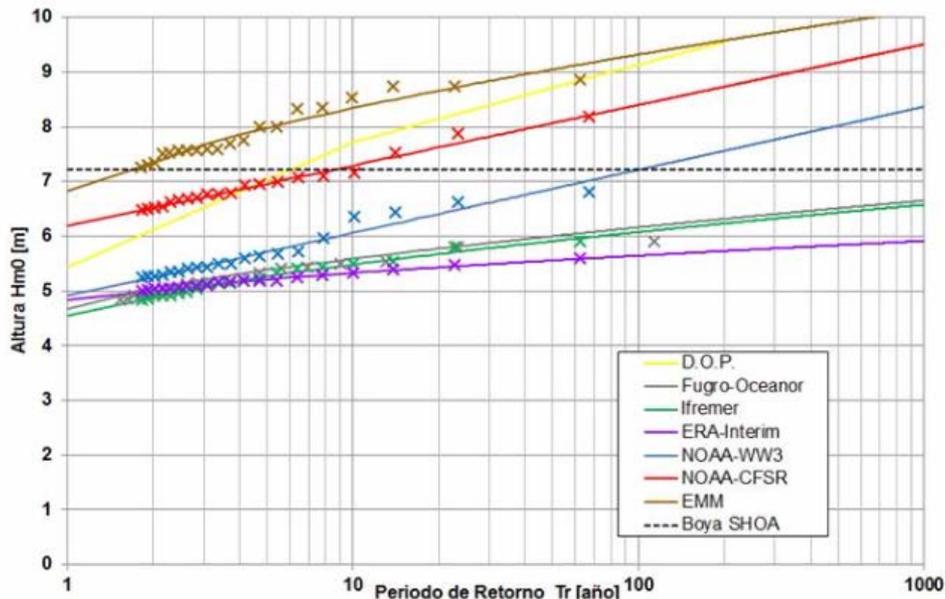
**“METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO
WAVEWATCH III EN LAS COSTAS DE CHILE PARA LA SIMULACIÓN DE
MAREJADAS: CASO DE APLICACIÓN DE LOS EVENTOS OCURRIDOS EL 3
DE JULIO DE 2013 Y EL 8 DE AGOSTO DE 2015 EN LA ZONA CENTRAL DE
CHILE ”**

César Esparza Acuña
Ingeniero Civil Oceánico
Universidad de Valparaíso
cesar.esparza@ingenieriaoceanica.com

1. MOTIVACIÓN
2. MODELO NUMÉRICO WAVEWATCH III
3. PROPUESTA METODOLOGICA
4. CONFIGURACIÓN SIMULACIONES
5. RESULTADOS
6. CONCLUSIONES

Clima de oleaje offshore

La normativa (SHOA 3201; Art. 3.1.2.2): Modelos numéricos de oleaje de 3ra generación calibrados y validados con boyas y altimetría satelital.



Curvas de altura significativa de aguas profundas y período de retorno a la cuadra de Valparaíso.

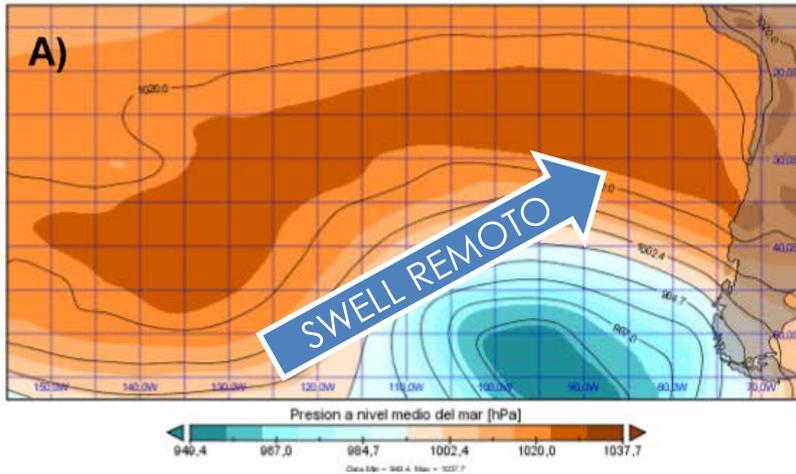
Fuente: Winckler et. al. 2015.

¿Porque estas incertidumbres?

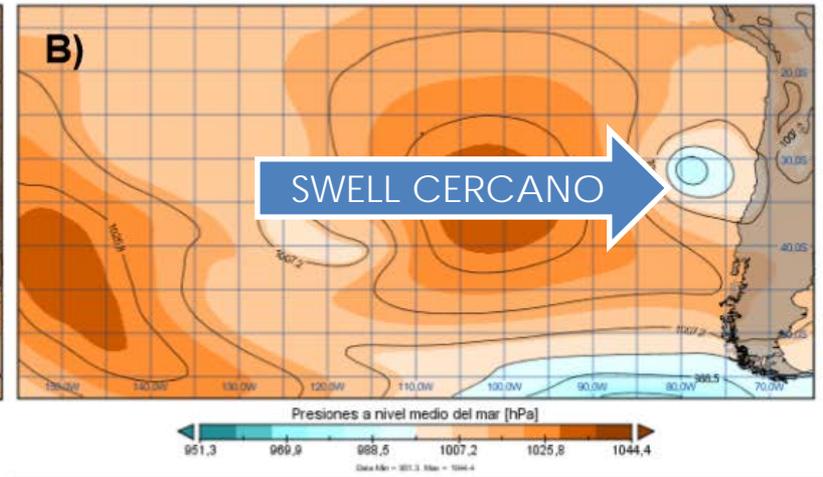
- Vientos forzados
- Configuración del modelo.
- Parámetros de entrada físicas.

En resumen ... errores sistemáticos.

3/7/2013 00:00 UTC



8/8/2015 00:00 UTC



Presiones superficiales durante 2 ciclones de latitud media característicos.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ERA-Interim.

WAVEWATCH III v4.18 es un modelo de fase promediada (3G) basado en la ecuación de balance de acción de olas (EBAO):



$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x \cdot \dot{\mathbf{x}}N + \frac{\partial}{\partial k} \dot{k}N + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta}N = \frac{S}{\sigma},$$

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{c}_g + \mathbf{U},$$

Nota: Modelos 3G implica grados de libertad = # de bins espectrales.

En aguas profundas, los procesos físicos relevantes son:

$$\sum S(\mathbf{i}) = S_{in}(\mathbf{i}) + S_{nl}(\mathbf{i}) + S_{ds}(\mathbf{i}) + S_{sd}(\mathbf{i}) + \dots$$

Crecimiento oleaje
Cuádruples no-lineales
Disipación

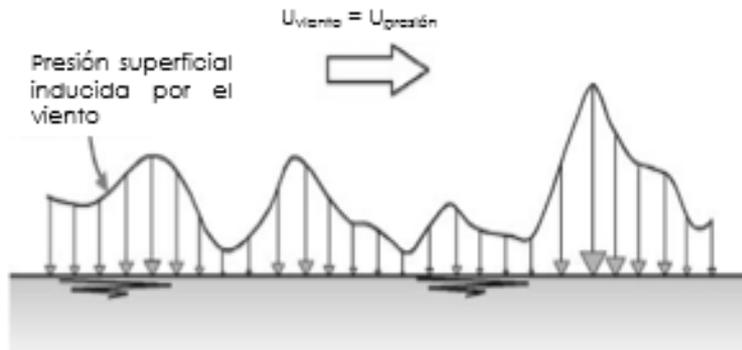
- Los procesos físicos son resueltos en forma paramétrica.
- En este trabajo se utilizara el paquete físico "ST4" (Ardhuin, 2010)



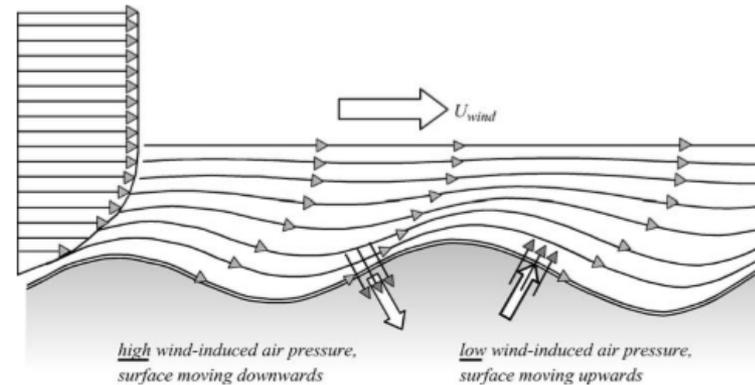
Crecimiento de oleaje S_{in}

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BN(\sigma, \theta) \quad \text{Modelo de Phillips-Miles (1957)}$$

Mecanismo de Phillips (1957)



Mecanismo de Miles (1957)



Parametrización de Janssen (1991) WAM-Cycle4 (Gunther et. al., 1991)

$$B(k, \theta) = \frac{\rho_a \beta_{max}}{\rho_w \kappa} e^{zZ^4} \left(\frac{u_*}{C} + z\alpha \right) \cos^{Pin}(\theta - \theta_u) \sigma$$

Parámetro de Miles

Modificación de Ardhuin (2010) paquete ST4 WWIII v4.18

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

Disipación del oleaje por whitecap S_{ds}

$$S_{ds} = [\gamma_{acum.} + \gamma_{sat.}] N(f, \theta)$$

- Saturación espectral (Banner et. al. 2000).
- Disipación acumulativa (Ardhuin et. al. 2011).

Transferencias no lineales ola-ola S_{nl4}

$$k_1 + k_2 = k_3 + k_4$$

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4$$

- Solución analítica (Zakharov, 1968)
- Metodo D.I.A (Hasselmann, 1985)

Disipación del oleaje swell S_{sd}

PROPAGATION OF OCEAN SWELL ACROSS THE PACIFIC

By F. E. SNODGRASS, G. W. GROVES, K. F. HASSELMANN,
G. R. MILLER, W. H. MUNK AND W. H. POWERS
Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, La Jolla

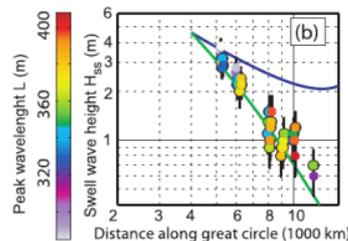
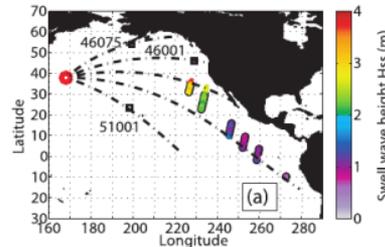
(Communicated by G. E. R. Deacon, F.R.S.—Received 3 February 1965)

spectra between stations indicate negligible attenuation for frequencies below 70 mc/s (less than 0.02 dB/deg between New Zealand and Alaska), and 0.15 dB/deg at 80 mc/s, with a considerable scatter from event to event. At higher frequencies the events disappear into a background spectrum which is remarkably uniform over the Pacific, and presumably the result of global high winds along the entire storm belt of the South Pacific. The attenuation in the near zone of the storm (within a distance comparable to the storm diameter) is estimated at 0.2 dB/deg at 70 mc/s and 0.4 dB/deg at 80 mc/s.



Observation of swell dissipation across oceans

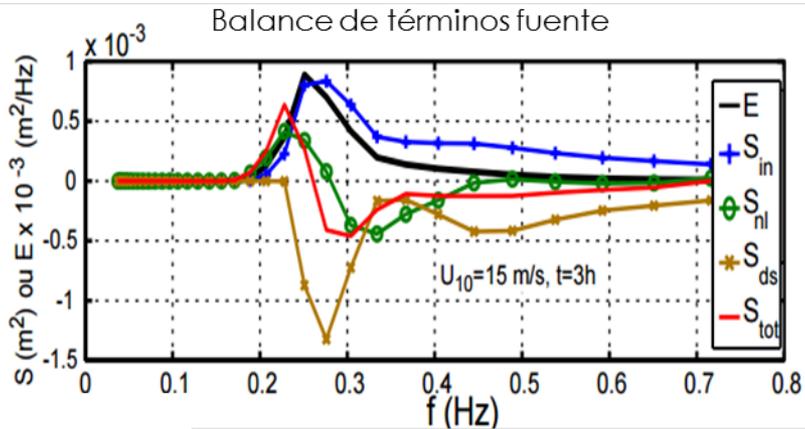
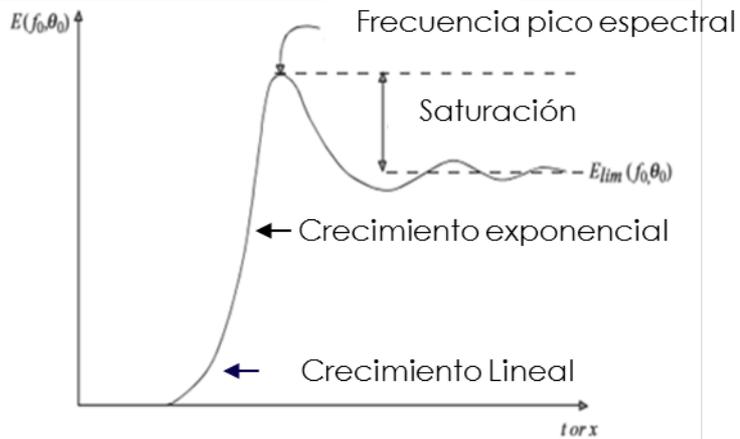
Fabrice Ardhuin,¹ Bertrand Chapron,² and Fabrice Collard³



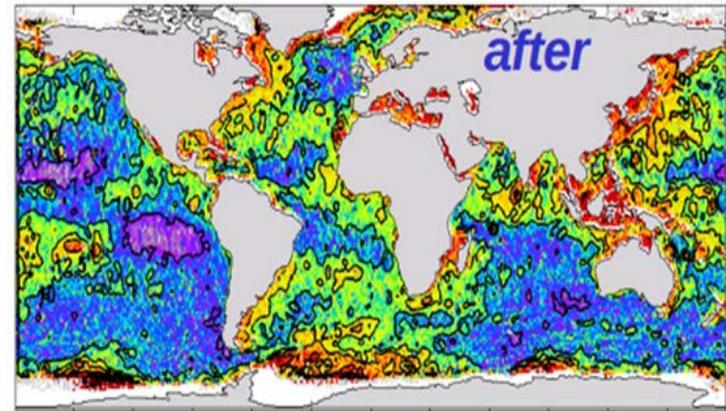
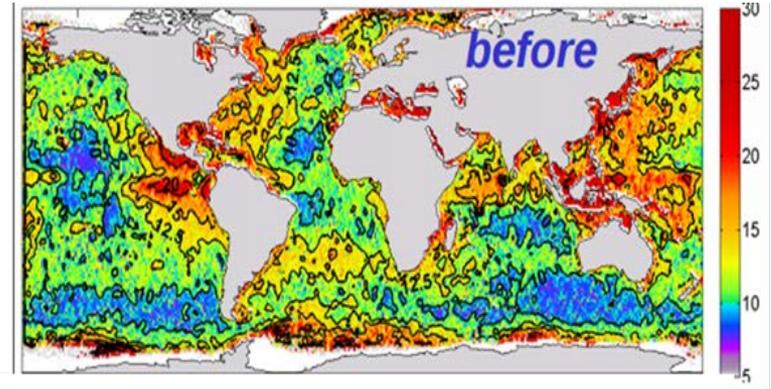
- El swell es un sistema de oleaje que ya no puede ser forzado.
- La disipación de oleaje swell se traduce en un flujo de energía desde el oleaje hacia el viento.

10

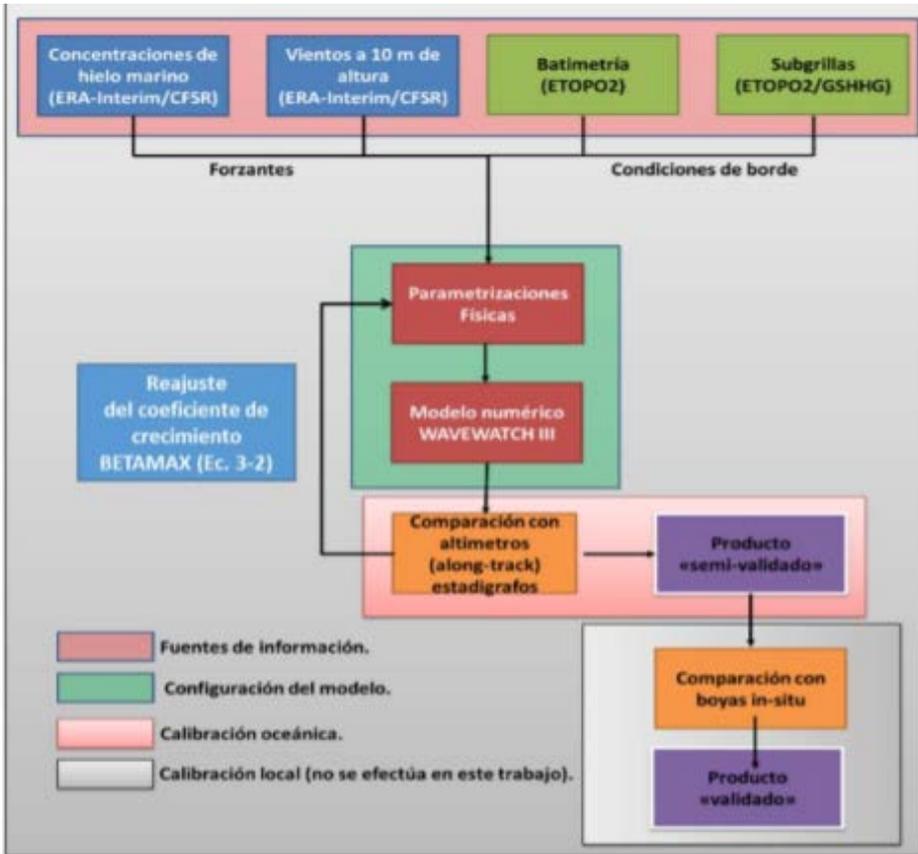
Curva de crecimiento oleaje



Error medio cuadrático normalizado para H_{m0} (%) altimetría vs. modelo numérico



Fuente: Arduin (2011): Calibración del hindcast IOWAGA (Ifremer, Francia)



Batimetría:

- ETOPO2v2 (NGDC, 2006)
- GSHHG (Wessel & Smith, 1996)

Vientos superficiales y hielo marino:

- NOAA-CFSR (Saha, 2010) horarios (0.33°).
- ECMWF ERA-Interim (Dee, 2011) tri-horarios (0.75°).

Ajuste del parámetro BETAMAX

Escenario [forzante-balance]	Vientos	Coeficiente crecimiento (Ec - 3.1)	
ERA-TAU	ERA-I	B_{max}	1.52
CFSR-MANUAL	CFSR	B_{max}	1.33
CFSR-TAU	CFSR	B_{max}	1.25

AZUL: BALANCE TAU (NOPP, ARDHUIN 2015)

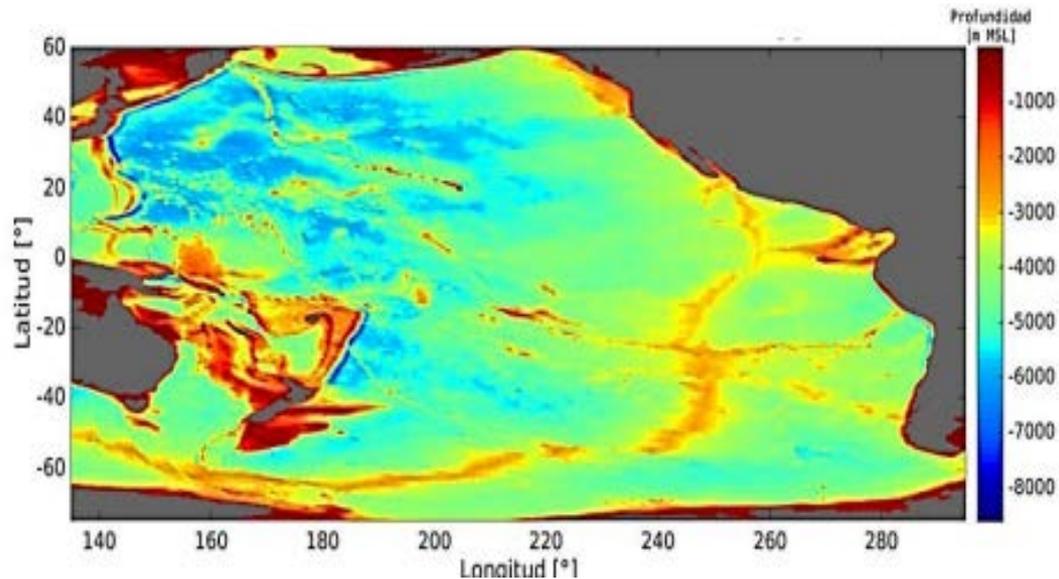
ROJO: BALANCE POR DEFECTO v4.18 (TEST451)

Altimetría:

- GLOBWAVE (Ash et. al. 2012)

Oligrafos:

- SHOA Watchkeeper (450 m)
- INH Curaumilla (150 m)



Mallado computacional:

- $[135^{\circ}\text{E} \times 65^{\circ}\text{W}] \otimes [75^{\circ}\text{S} \times 60^{\circ}\text{N}]$
resolución de 1°

Esquemas numéricos

- ULTIMATE QUICKEST (Leonard, 1991),
- Promediación de Tolman (Tolman, 2002).
- Obstrucciones (Chawla et. al. 2007).

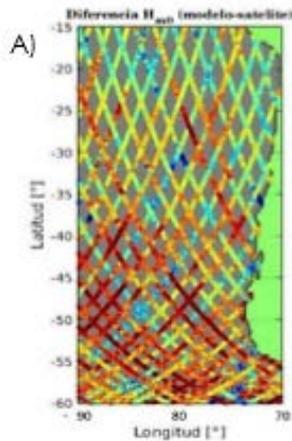
Mallado espectral:

- 32 bins en frecuencia (6 a 26 segundos) \otimes 24 bins en dirección (15° de resolución).

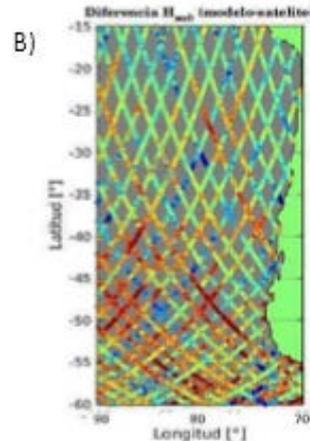
Tiempo de simulación:

- 2 meses, 1 mes de *hot start*.

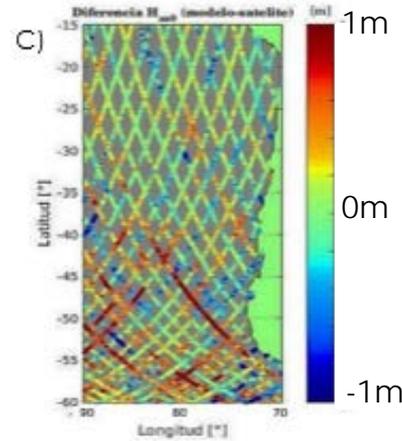
CFSR-MANUAL



CFSR-TAU

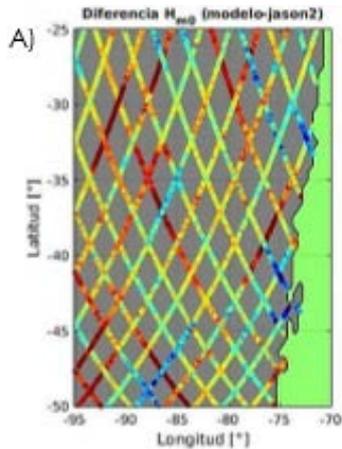


ERA-TAU

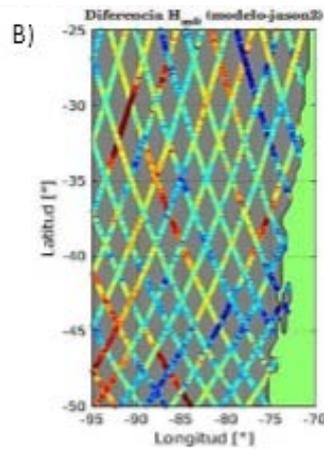


Periodo: 15/6/2013 al 15/7/2013. Fuente: Elaboración propia.

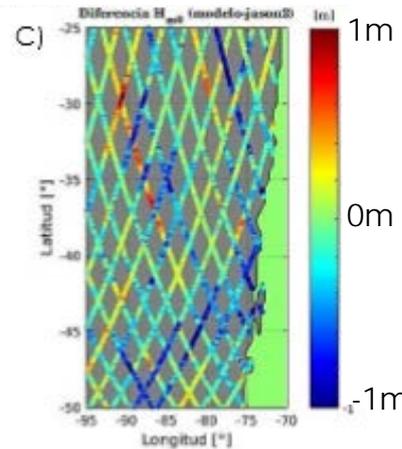
CFSR-MANUAL



CFSR-TAU



ERA-TAU



Periodo: 15/7/2015 al 15/8/2015. Fuente: Elaboración propia.

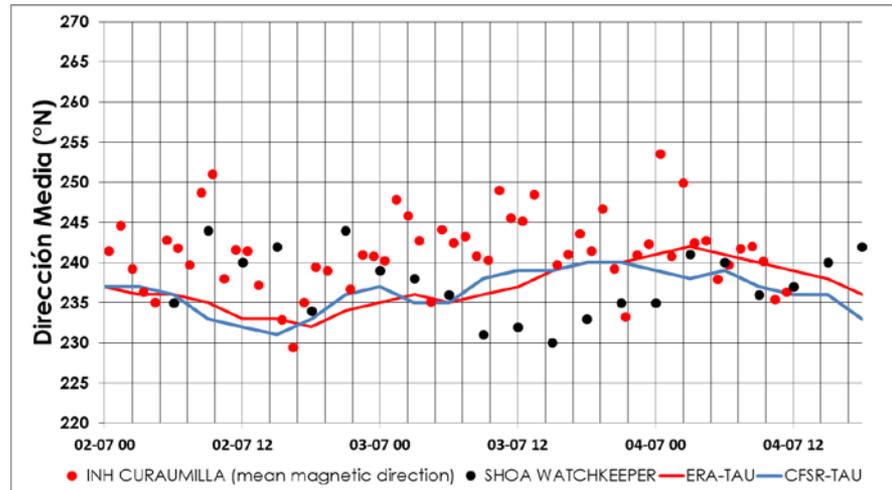
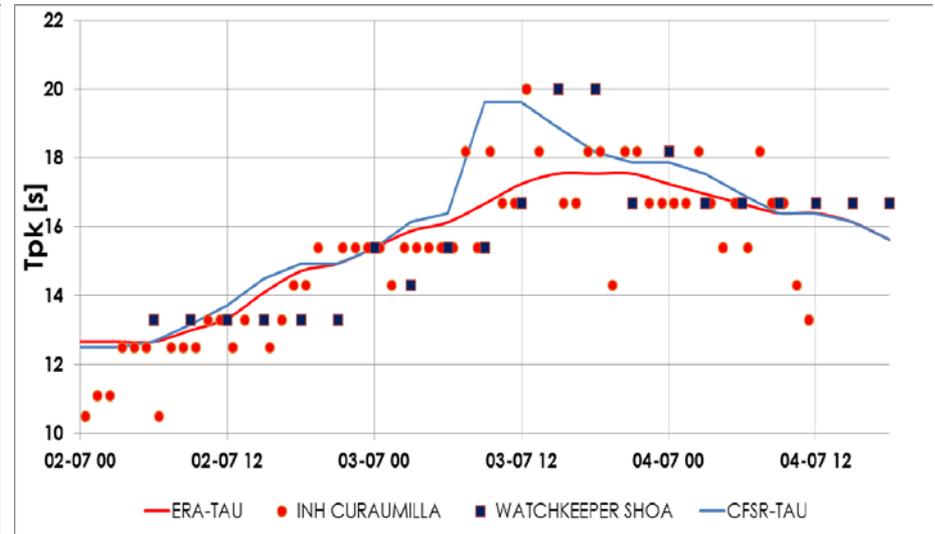
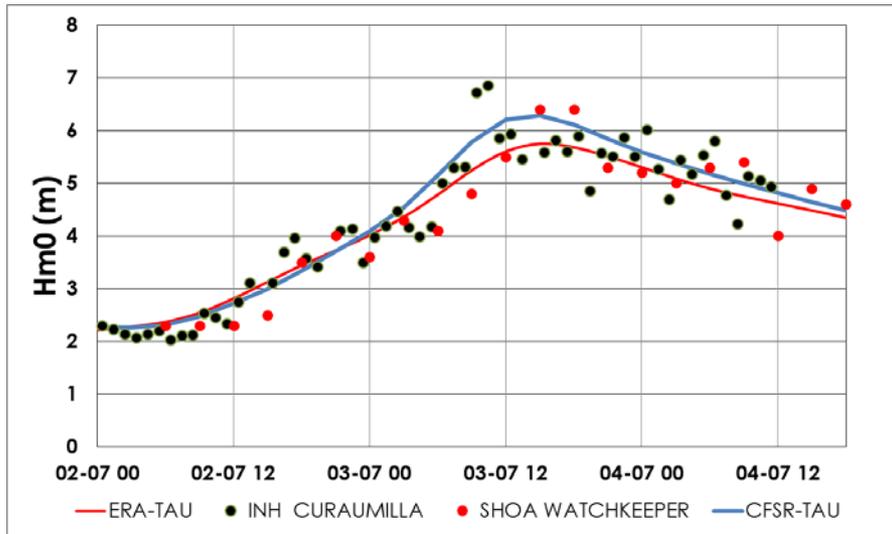
Colocación
"along-track"
Queffeulou, P. B.
(2007)

Tabla 3. Análisis estadístico simulaciones vs altímetros.

Along track desde el 15 de junio al 15 de julio de 2013							
Altimetro	Escenario	BIAS [m]	RMSE [m]	SI	Ajuste	WILMOTT	R ²
JASON1	CFSR-MANUAL	0.324	0.518	12%	H _{teor} *1.08	0.975	0.843
	CFSR-TAU	0.147	0.391	9%	H _{teor} *1.041	0.985	0.884
	ERA-TAU	0.202	0.402	9%	H _{teor} *1.047	0.984	0.874
JASON2	CFSR-MANUAL	0.318	0.54	13%	H _{teor} *1.081	0.973	0.835
	CFSR-TAU	0.136	0.421	10%	H _{teor} *1.041	0.983	0.873
	ERA-TAU	0.141	0.415	10%	H _{teor} *1.038	0.983	0.873
CRYOSAT	CFSR-MANUAL	0.141	0.469	11%	H _{teor} *1.048	0.978	0.855
	CFSR-TAU	-0.036	0.409	10%	H _{teor} *1.006	0.982	0.871
	ERA-TAU	-0.023	0.402	10%	H _{teor} *1.005	0.982	0.874
Along-track desde el 15 de julio al 15 de agosto de 2015							
Altimetro	Escenario	BIAS [m]	RMSE [m]	SI	Ajuste	WILMOTT	R ²
JASON2	CFSR-MANUAL	0.241	0.517	12%	H _{teor} *1.062	0.957	0.796
	CFSR-TAU	-0.055	0.436	11%	H _{teor} *0.99	0.967	0.824
	ERA-TAU	-0.153	0.415	11%	H _{teor} *0.961	0.969	0.835
CRYOSAT	CFSR-MANUAL	0.242	0.516	13%	H _{teor} *1.062	0.946	0.78
	CFSR-TAU	-0.059	0.439	12%	H _{teor} *0.985	0.957	0.813
	ERA-TAU	-0.119	0.398	11%	H _{teor} *0.969	0.965	0.833
SARAL	CFSR-MANUAL	0.278	0.548	13%	H _{teor} *1.063	0.969	0.826
	CFSR-TAU	-0.037	0.45	12%	H _{teor} *0.987	0.978	0.861
	ERA-TAU	-0.175	0.456	12%	H _{teor} *0.948	0.976	0.868

Escenarios "TAU" (NOPP):

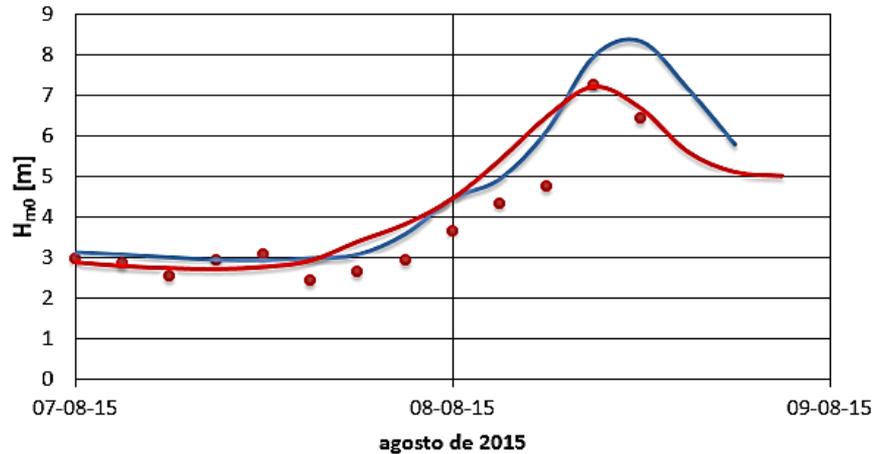
- Reducción del sesgo (BIAS).
- Reducción del RMSE.
- Dispersión no es un buen indicador.
- Pendientes ajuste cercanas a la unidad.
- Correlaciones de Pearson aprox. R²=0.87.



Estado de mar:

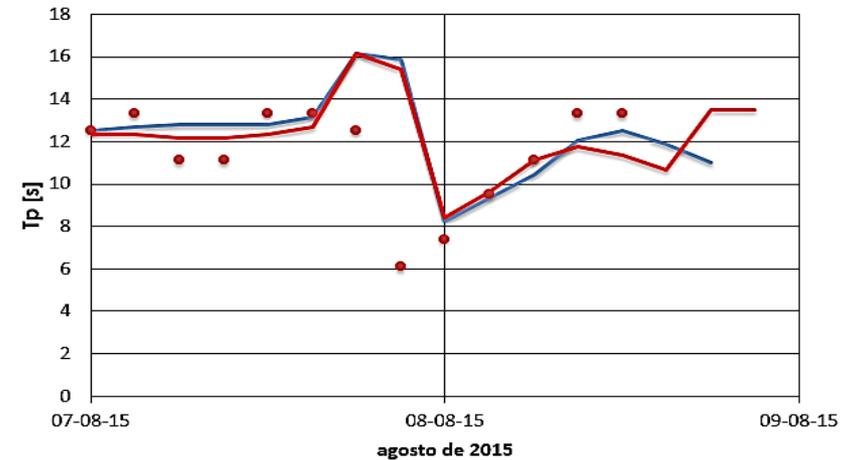
- Forzante-balance: CFSR-TAU
- $H_{m0} = 6.3$ [m]
- $T_{pk} = 18.8$ [s]
- $D_{mean} = 239$ °N

Altura significativa



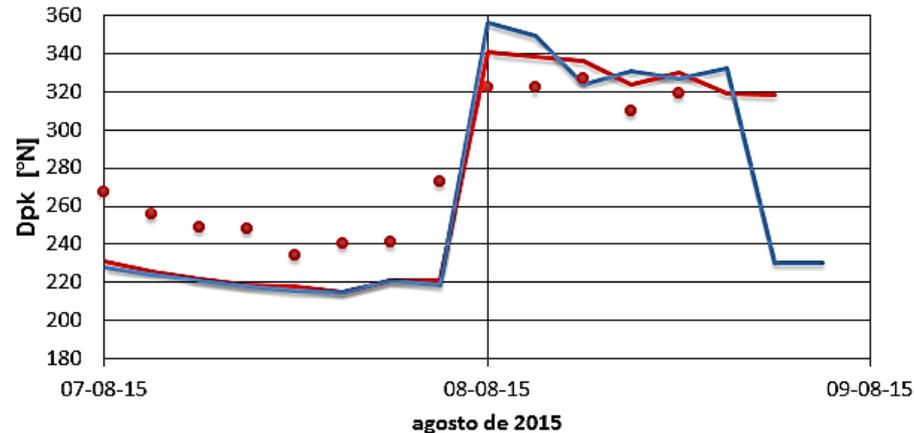
● WATCHKEEPER SHOA - VALPARAÍSO — WWIII-CFSR-TAU — WWIII-ERA-TAU

Periodo pico



— WWIII-CFSR-TAU ● WATCHKEEPER SHOA - VALPARAÍSO — WWIII-ERA-TAU

Dirección pico



— WWIII-CFSR-TAU ● WATCHKEEPER SHOA - VALPARAÍSO — WWIII-ERA-TAU

Estado de mar:

- Forzante-balance: ERA-TAU
- $H_{m0} = 7.3$ [m]
- $T_{pk} = 12$ [s]
- $D_{pk} = 336$ [°N]



En cuanto a la aplicación del modelo WAVEWATCH III v4.18 en las costas de Chile

- Actualmente no existe una teoría que permita cuantificar de manera precisa todos los procesos físicos que componen la EBAO. Las parametrizaciones físicas son estrategias heurísticas y requieren una visión global y local de su impacto.
- Para ello se requieren mediciones de campo:
 - Mediciones de satélite permiten disminuir sesgos.
 - Red de monitoreo de oleaje y vientos en las costas de Chile.
 - Una alternativa: el ruido sísmico.

Ocean wave sources of seismic noise

Fabrice Ardhuin, Eleonore Stutzmann, Martin Schimmel,
Anne Mangeney

First published: 8 September 2011 [Full publication history](#)

DOI: 10.1029/2011JC006952 [View/save citation](#)

Cited by: 57 articles [Citation tools](#)

En cuanto a los eventos estudiados

- Para ambos eventos (3/7/2013 y 8/8/2015) el escenario CFSR-MANUAL sobrestimó H_{m0} .
- Los escenarios CFSR-TAU y ERA-TAU presentaron un mejor ajuste a las mediciones satelitales.

3/7/2013:

- Forzante-balance: CFSR-TAU
- $B_{max}=1.25$
- $H_{m0}=6.3$ [m]
- $T_{pk} = 18.8$ [s]
- $D_{mean} = 239$ °N

8/8/2015:

- Forzante-balance: ERA-TAU
- $B_{max}=1.52$
- $H_{m0}=7.3$ [m]
- $T_{pk} = 12$ [s]
- $D_{pk} = 336$ [°N]



Universidad
de Valparaíso
CHILE

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Oceánica



“Me gustaría agradecer al equipo de trabajo del **proyecto “ATLAS DE OLEAJE PARA CHILE”** por disponer esta oportunidad para mí. Se agradece la facilitación mediciones de oleaje al **SHOA**, 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”** y a la oficina consultora **APUERTO Ingeniería Limitada** por la disposición de recursos informáticos, asesoría y financiamiento del tiempo necesario para la I+D”.

César Esparza Acuña