

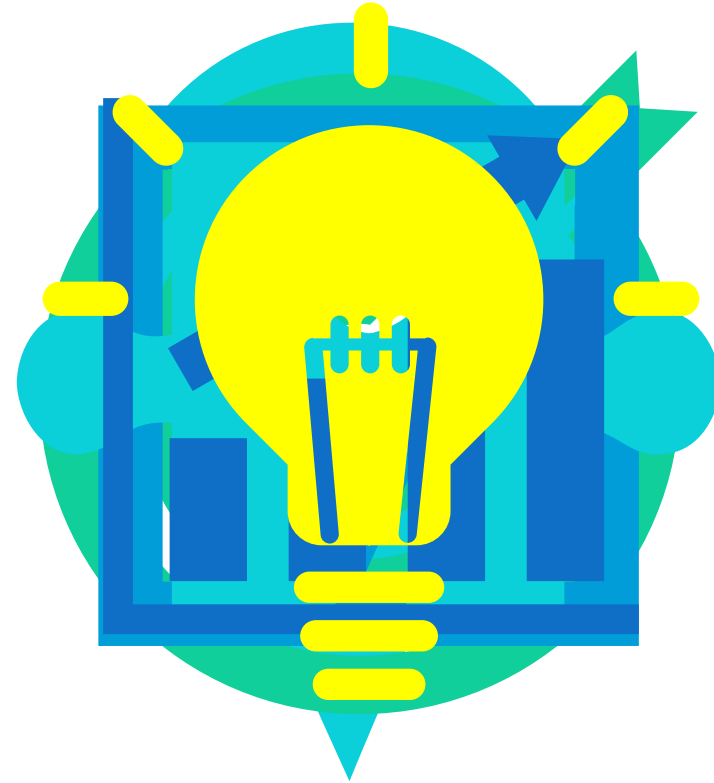
DESARROLLO PRELIMINAR DE UN MODELO OPERACIONAL PARA PRONÓSTICOS DE OLEAJE EN EL SENO DE RELONCAVÍ, REGIÓN DE LOS LAGOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL OCEÁNICO

JORGE PÉREZ SILVA
VALPARAÍSO, ENERO 2023

Contenidos

1. Introducción
2. Alcances y Limitaciones
3. Objetivos
4. Metodología
5. Resultados
6. Conclusiones



1.

INTRODUCCIÓN

Contextualización



Fuente: Wikipedia.



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

3.

OBJETIVOS

Objetivo general



Desarrollar de manera preliminar un modelo operacional de oleaje para apoyar la toma de decisiones marítimas en el Seno de Reloncaví, Región de Los Lagos.

Objetivos específicos

1. Evaluar una base de datos de viento perteneciente al Seno de Reloncaví.



3. Construir una base de registros de oleaje.

Construir una base de datos de campos de viento para la alimentación del modelo.

2.

5. Elaborar un algoritmo para utilizar el modelo SWAN de forma operacional, con la automatización de los procesos que requiera su ejecución.

Calibrar los resultados del modelo a partir de los registros de oleaje.

4.

2.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances y limitaciones



Utilización y evaluación de una única base de datos de viento.



Utilización y análisis del desempeño del modelo SWAN.



Disponibilidad de registros de oleaje.



Sólo calibración, no validación.



No se contempla el análisis de los espectros.

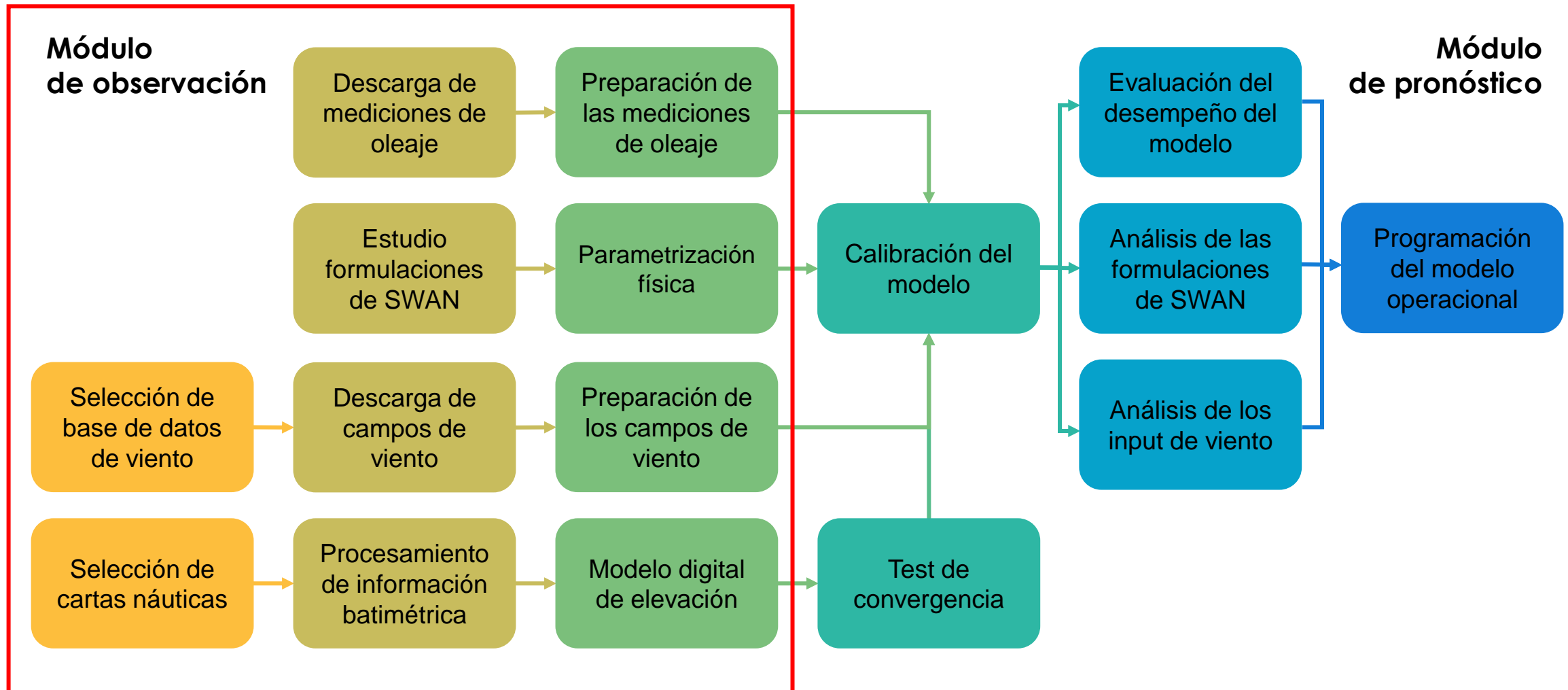


Enfoque en el estudio de las formulaciones para los mecanismos de generación del viento y la disipación por whitecapping.

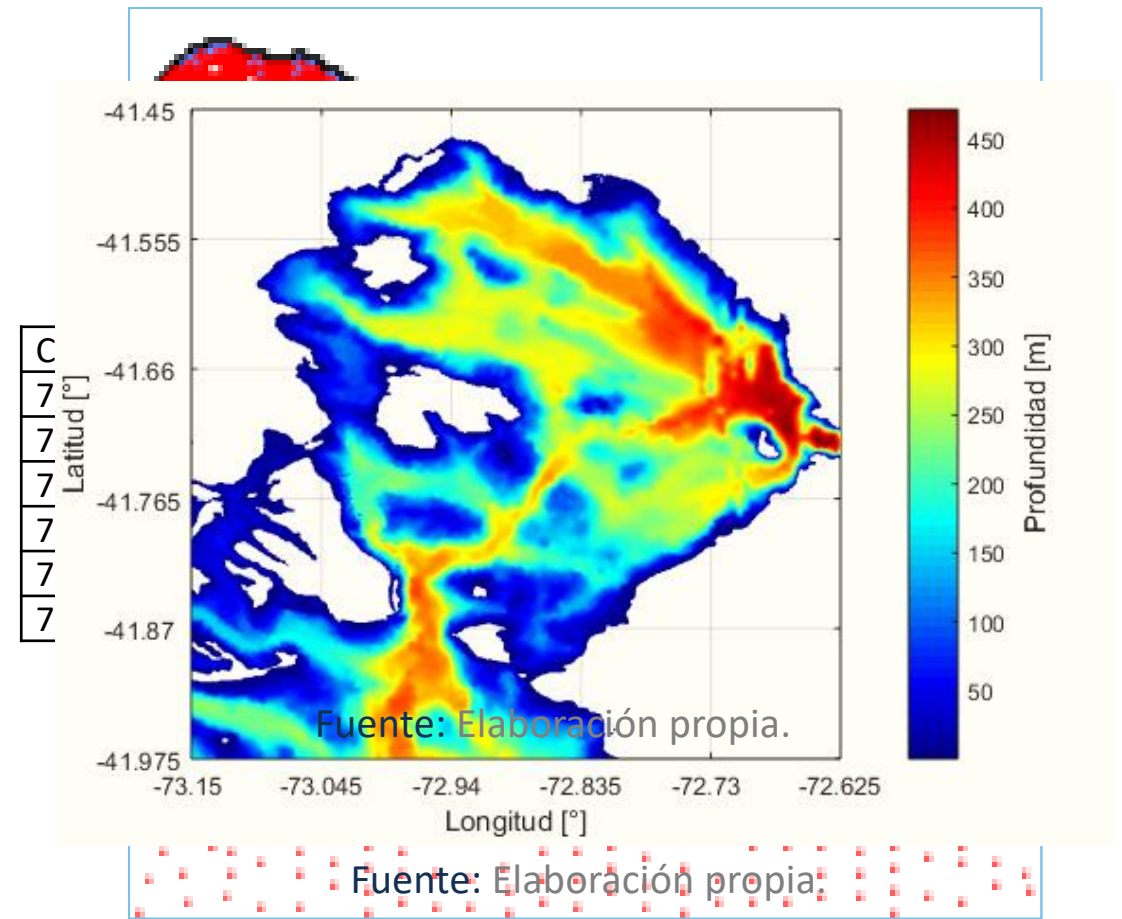
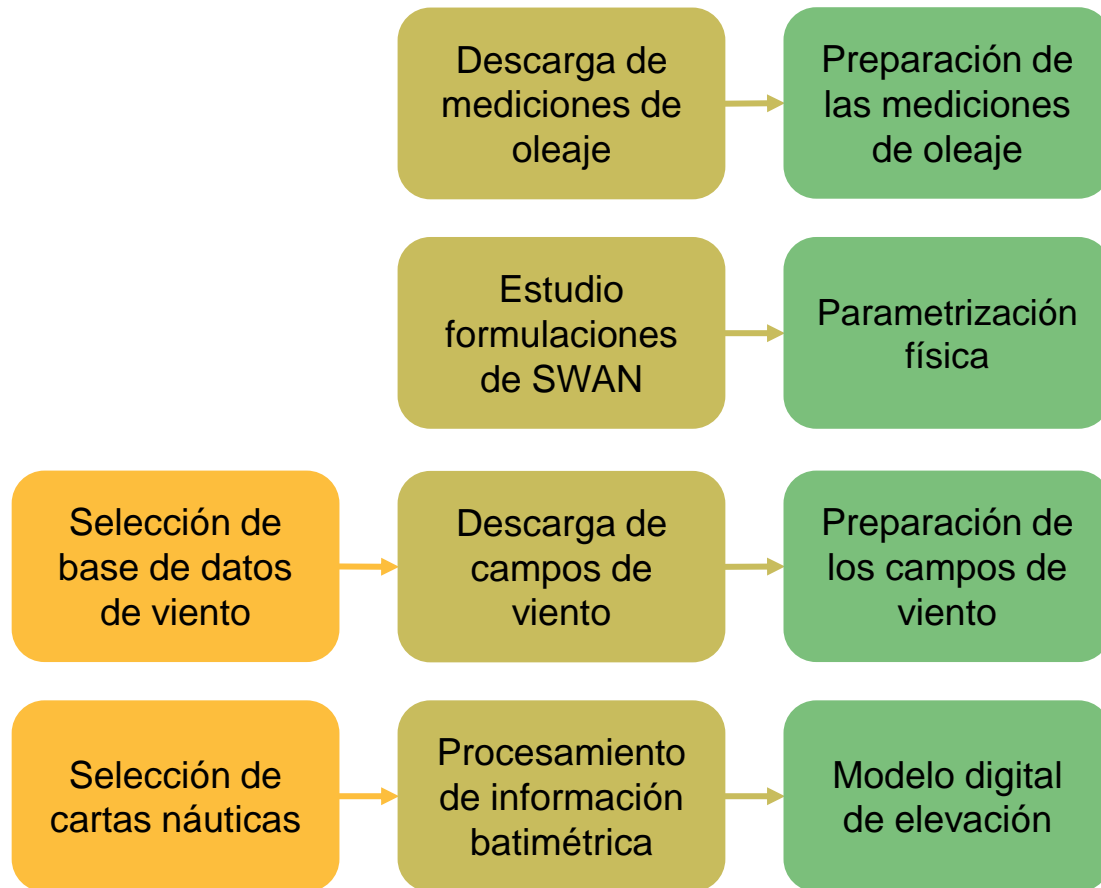
4.

METODOLOGÍA

Metodología

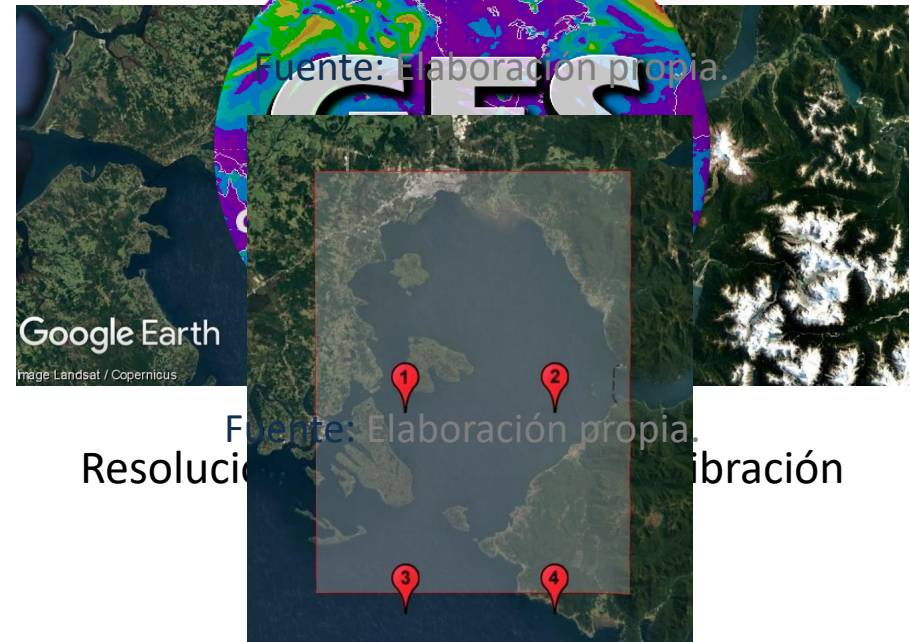
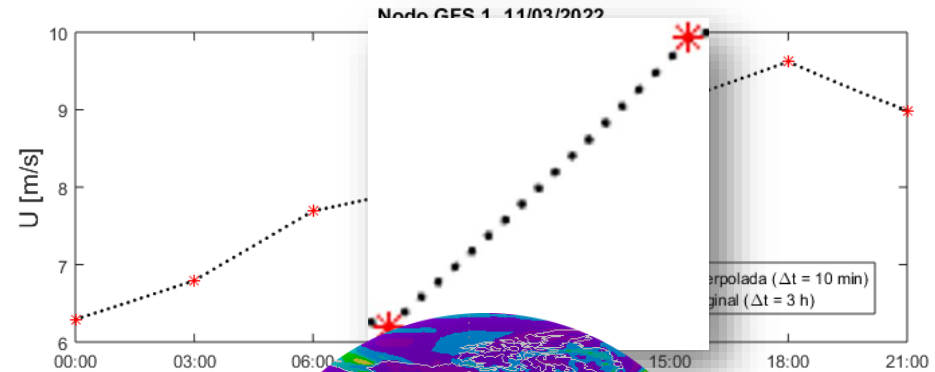
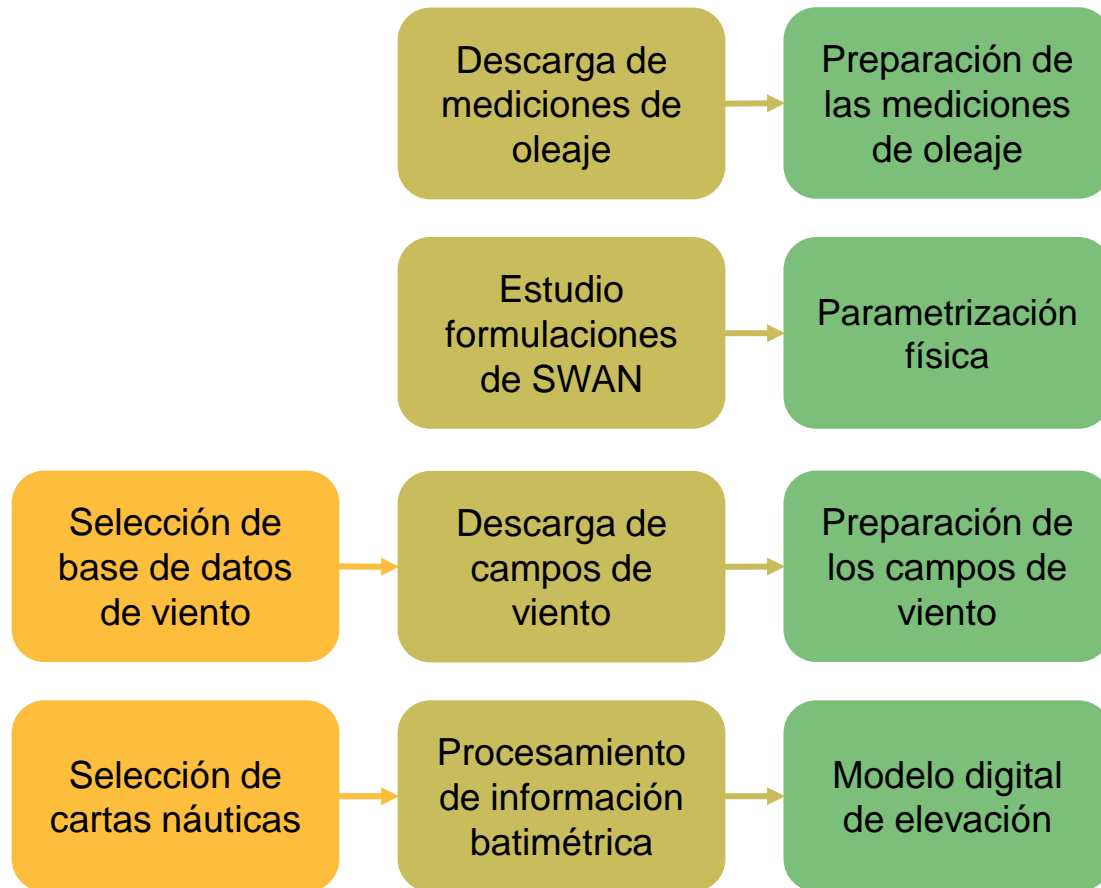


Módulo de observación

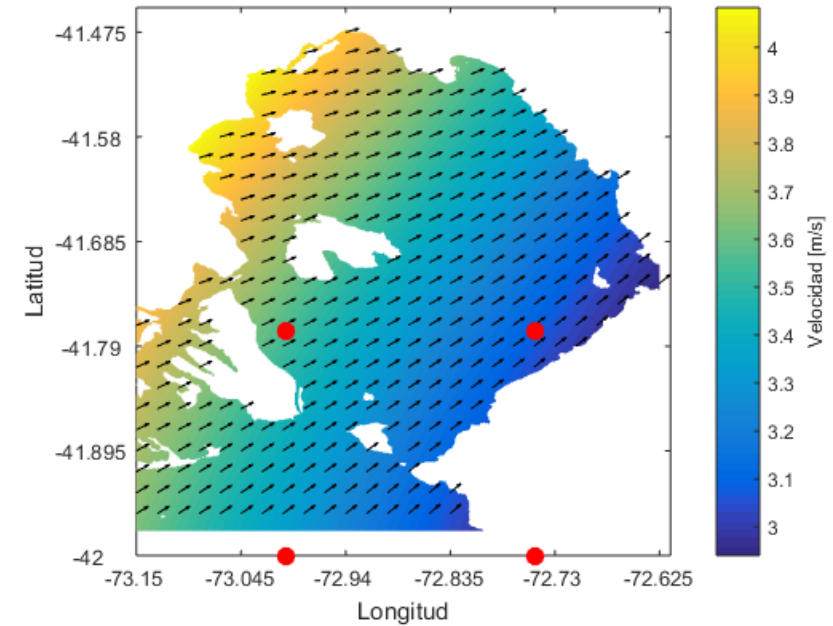
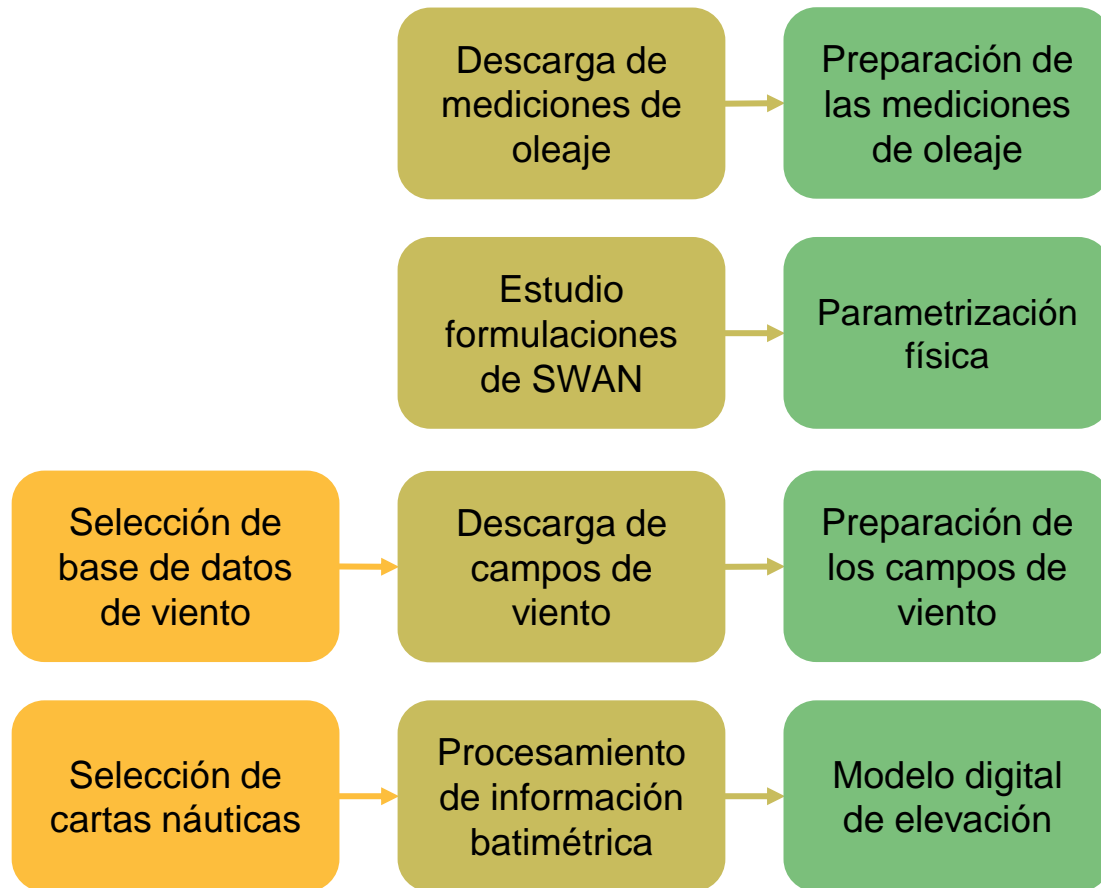


Fuente: Elaboración propia.

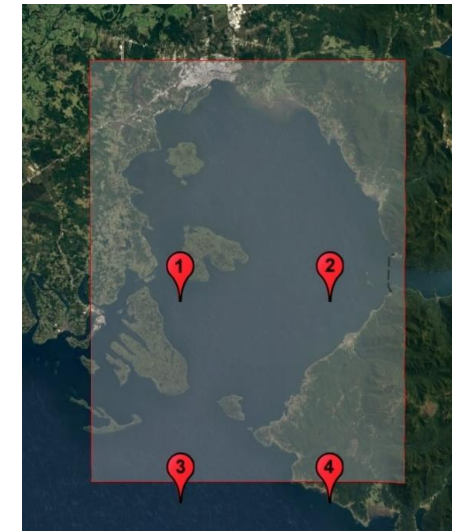
Módulo de observación



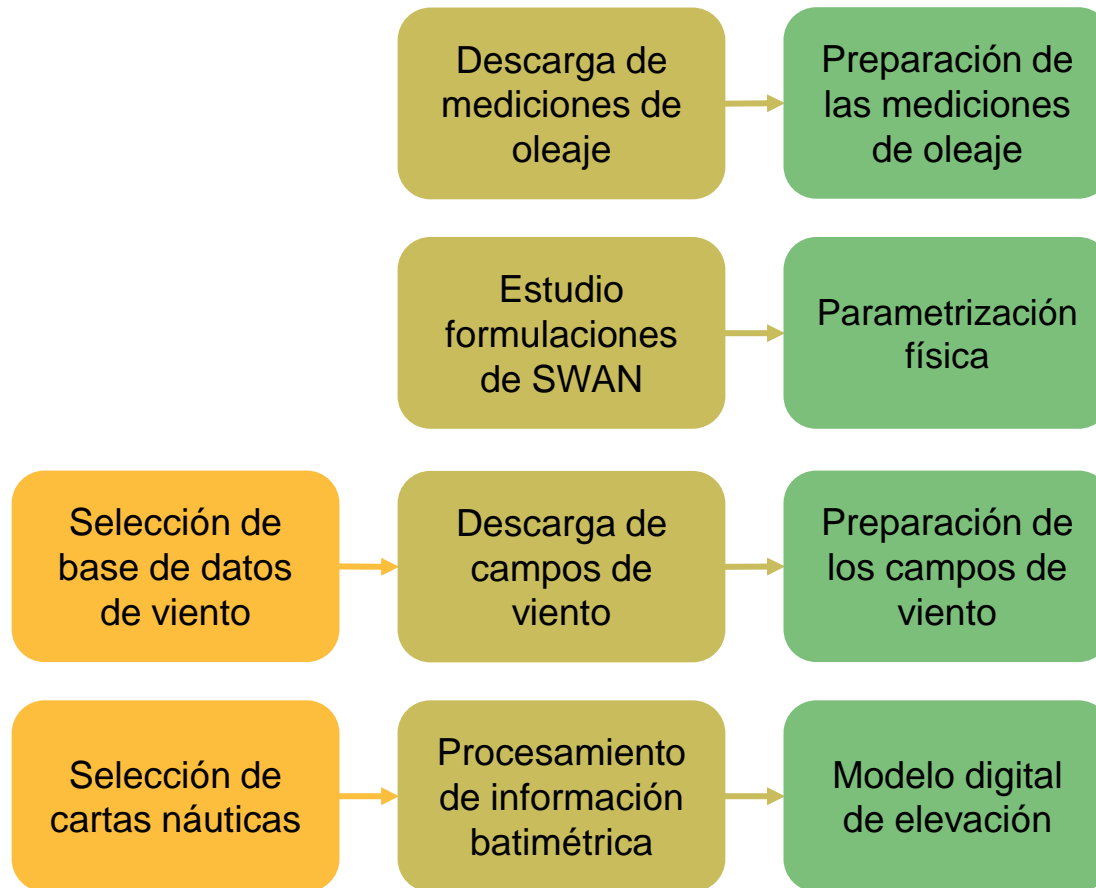
Módulo de observación



Fuente: Elaboración propia.

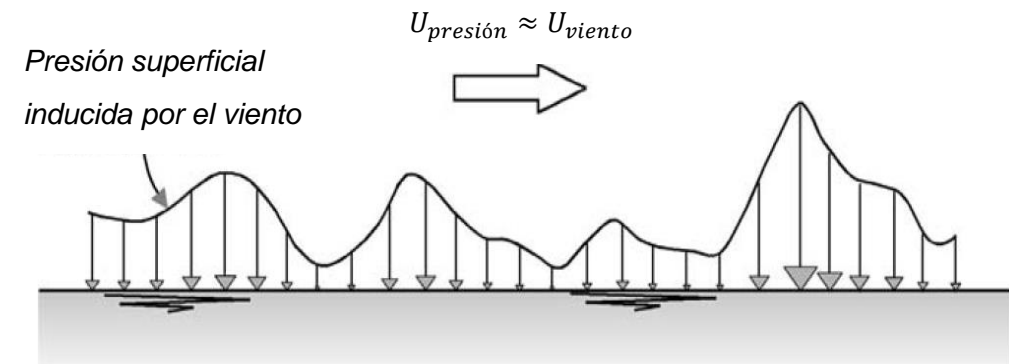


Módulo de observación



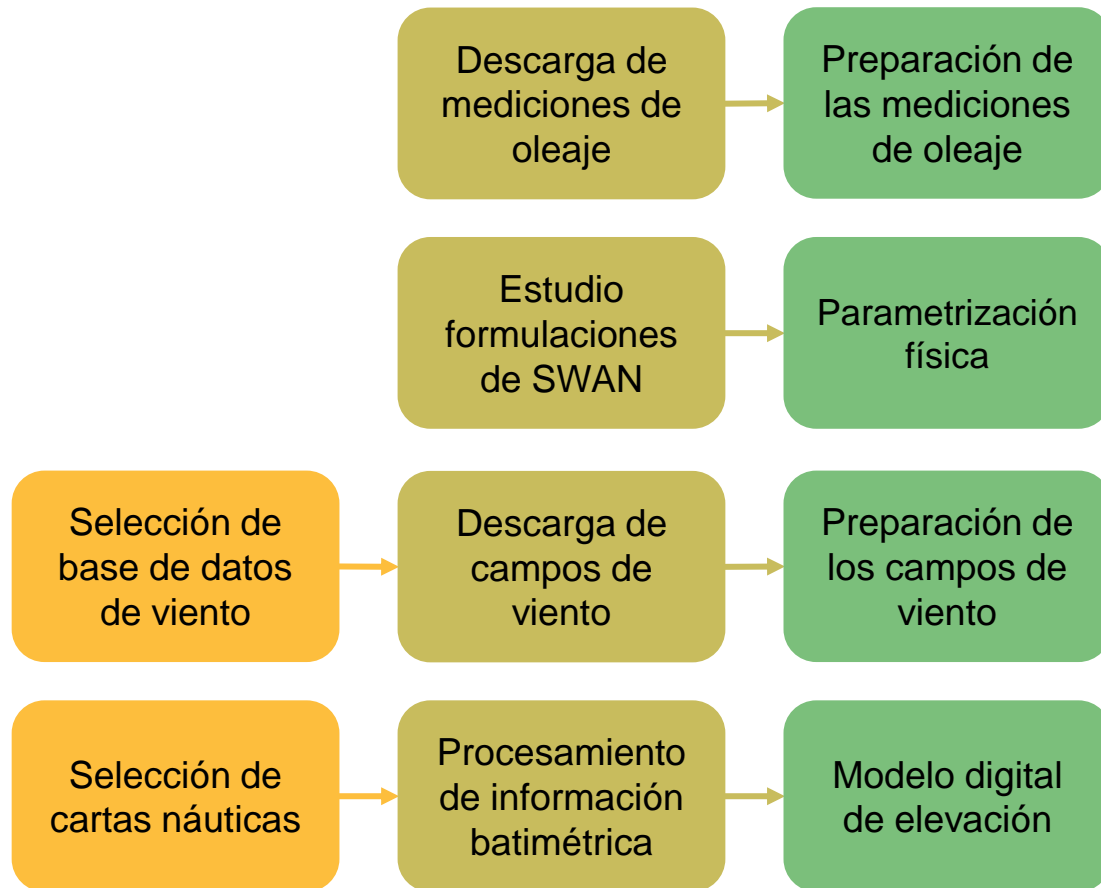
Mecanismo lineal

Phillips (1957)



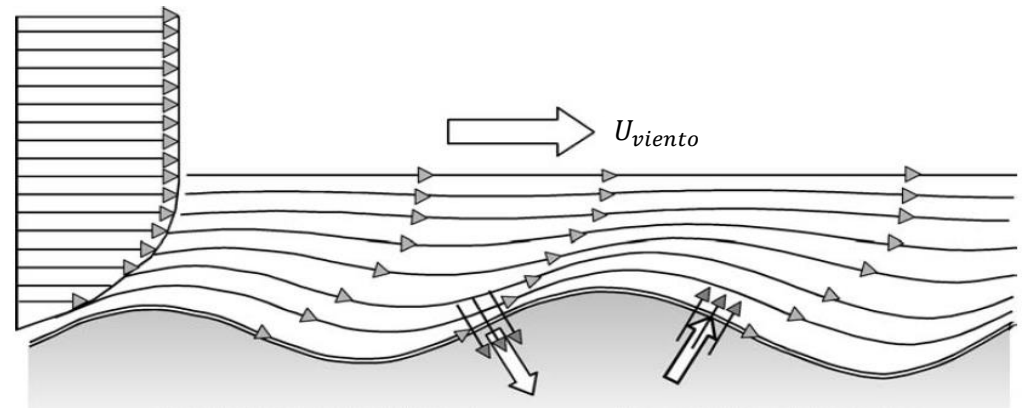
Fuente: Holtuijsen (2007).

Módulo de observación



Mecanismo exponencial

Miles (1957)



Fuente: Holtuijsen (2007).

Módulo de observación



$$\frac{\partial E(f, \theta, x, y, t)}{\partial t} + \frac{\partial c_{g,x} E(f, \theta, x, y, t)}{\partial x} + \frac{\partial c_{g,y} E(f, \theta, x, y, t)}{\partial y} + \frac{\partial c_{\theta} E(f, \theta, x, y, t)}{\partial \theta} = S(f, \theta, x, y, t)$$

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + B(\sigma, \theta)$$

Mecanismo lineal

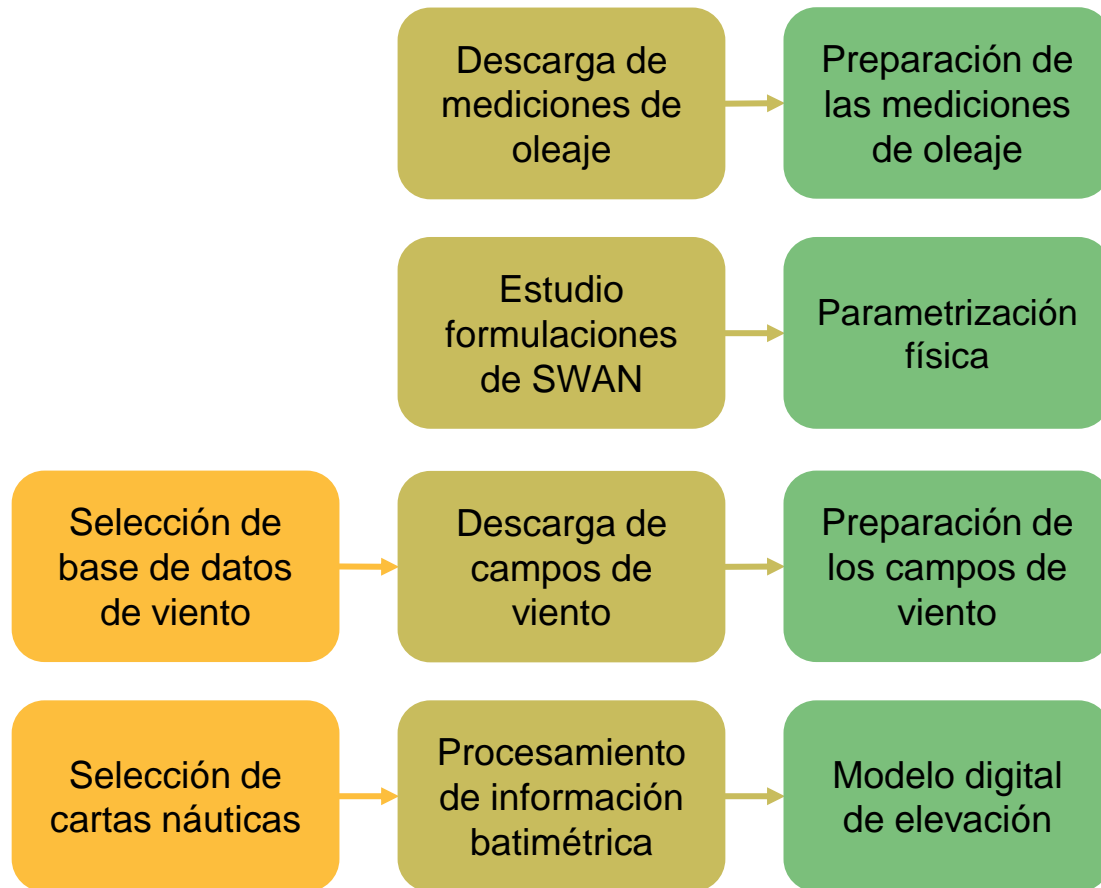
Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)

Mecanismo exponencial

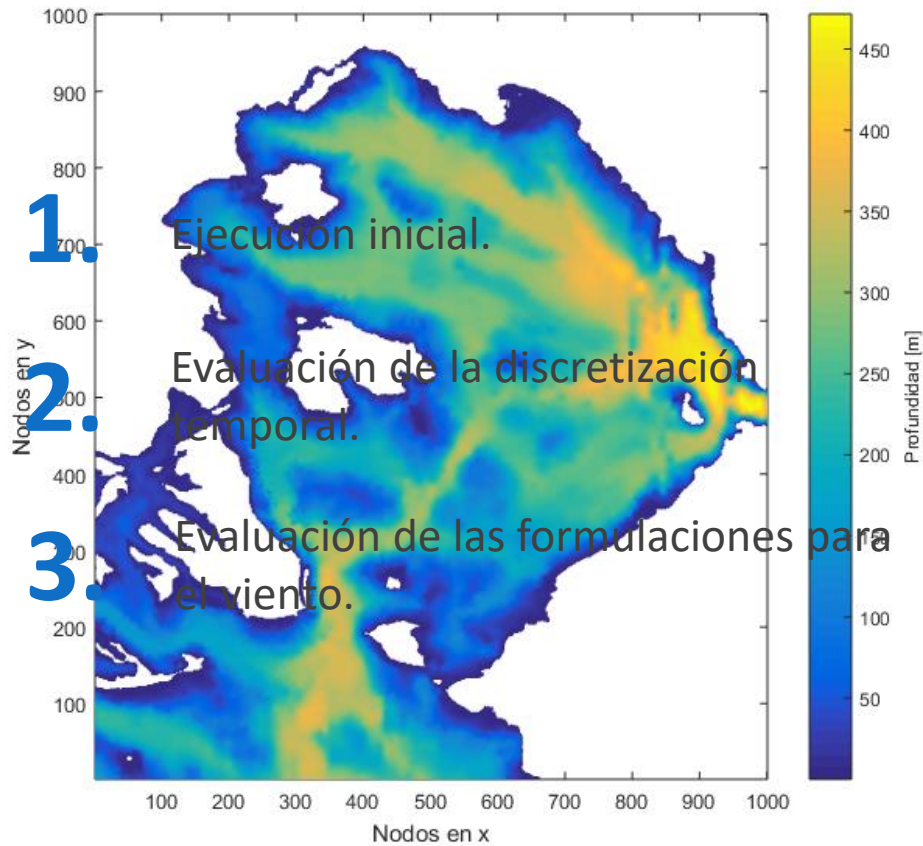
Komen *et al.* (1984)

Janssen (1989, 1991)

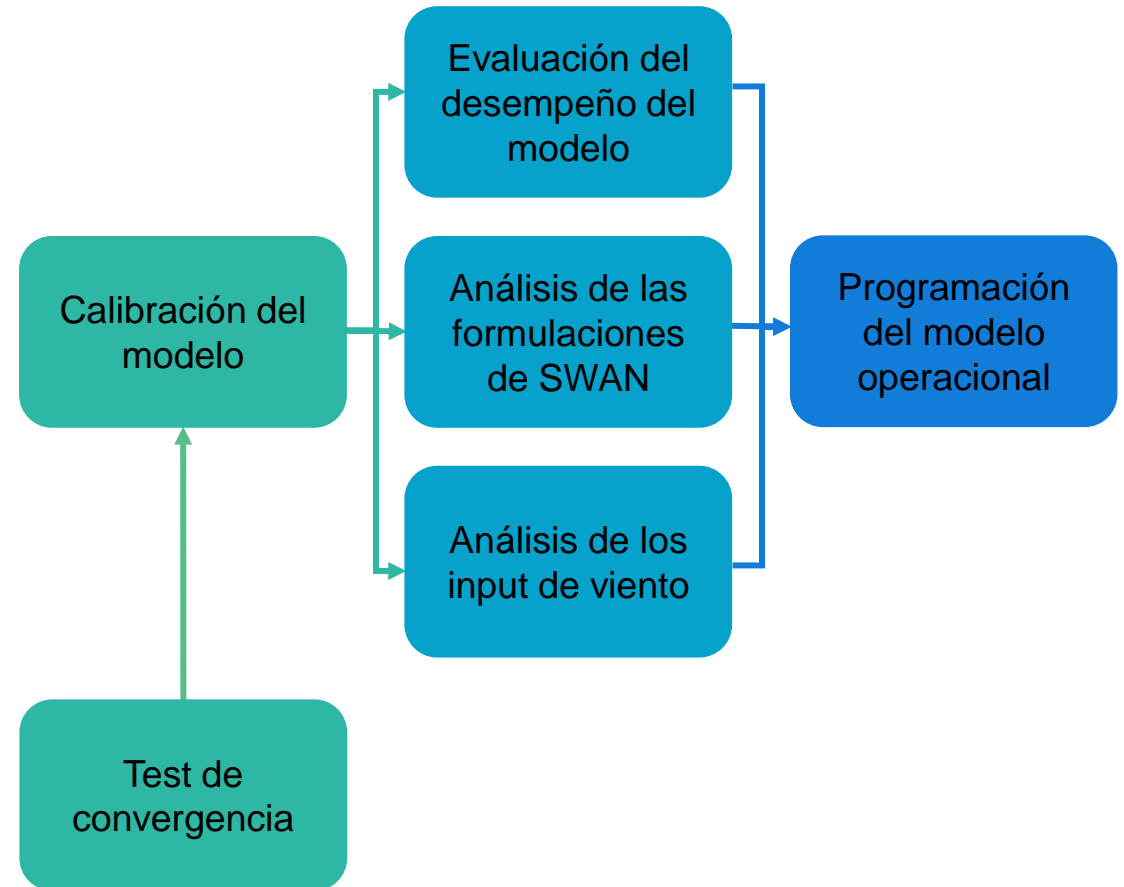
Módulo de observación



Módulo de pronóstico



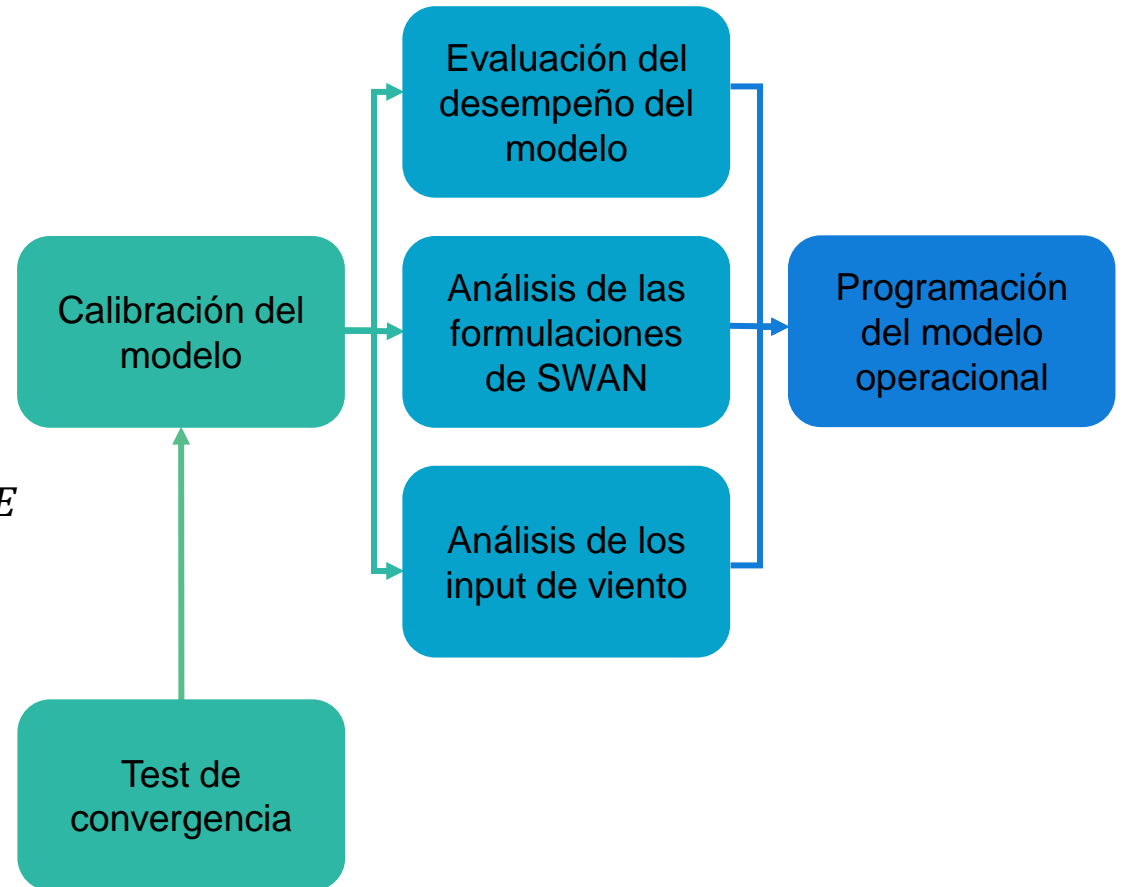
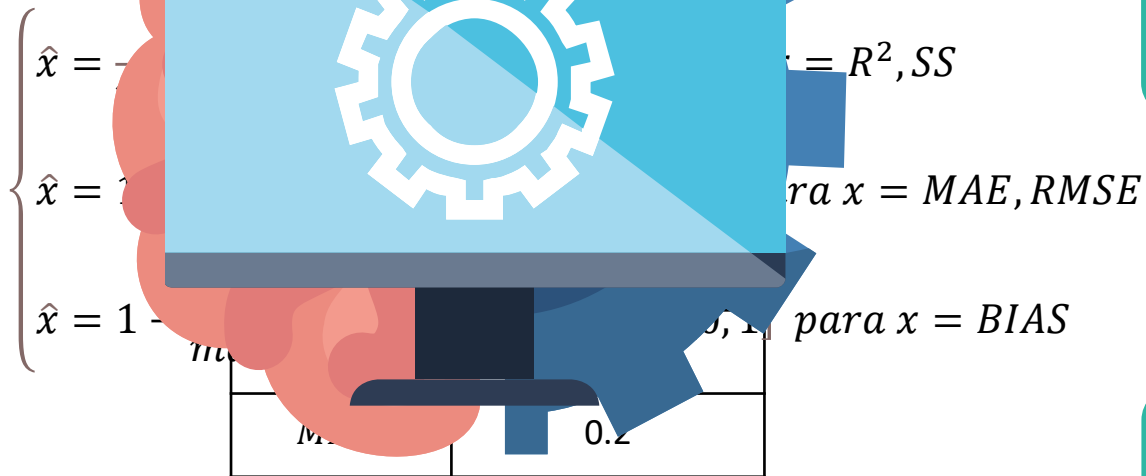
Fuente: Elaboración propia.



Módulo de pronóstico

De acuerdo con Beyá et al. (2017)

$$PDM = \sum_{i=1}^5 x_i \cdot \text{[Metric]} \quad \text{para } x = BIAS, RMSE, SS, MAE.$$

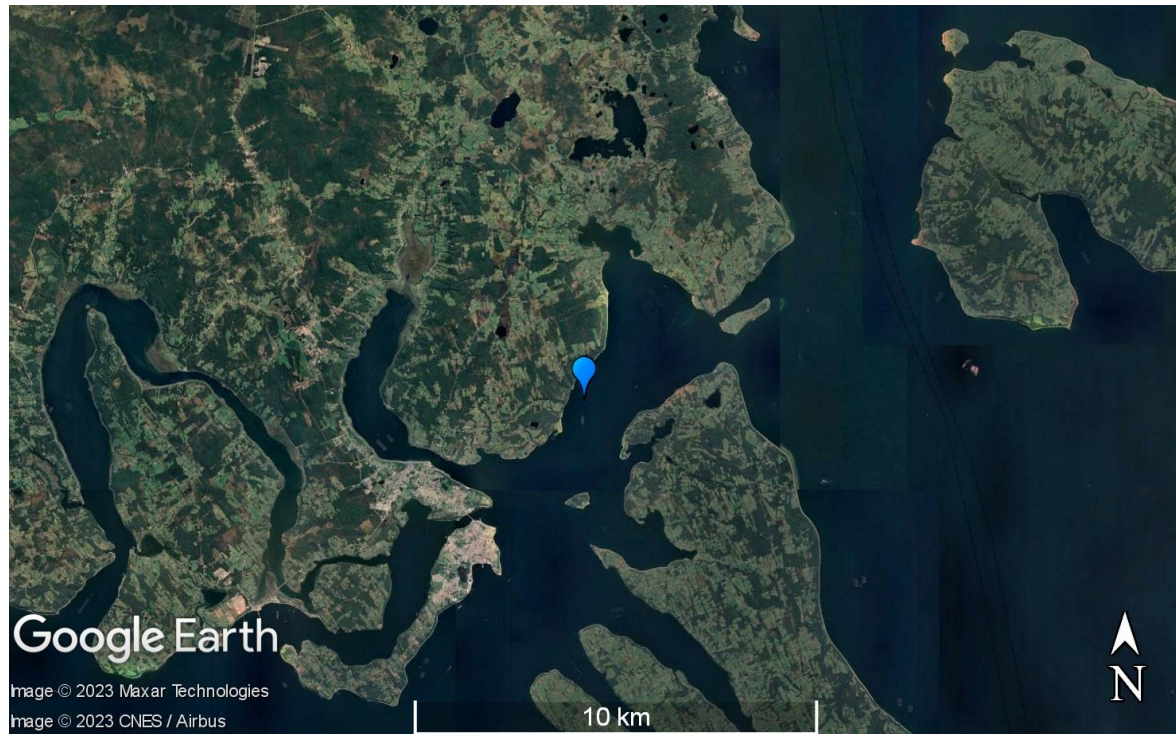


5.

RESULTADOS

Calibración

Medición de Oleaje



Latitud	Longitud
41°44'25.05"S	73°05'58.53"O

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Calibración

Tiempos de Ejecución

Modelo	Tiempo de Ejecución [HH:MM:SS]
G3	09:22:45
G3D10m	33:34:55
G3D1h	21:41:48
G3Bk	37:10:51
G3ABk	47:12:48
G3ABj	37:56:52

Fuente: Elaboración propia.

Calibración

Ejecución Inicial

Modelo	G3
Modo	No estacionario
Δt	10 minutos
Generación	3 ^{ra}
Campos de Viento	Constantes en el espacio
Mecanismo Lineal	No activado
Mecanismo Exponencial	Komen et al. (1984)
Whitecapping	Komen et al. (1984)
Interacción por Cuadrupletos	Hasselmann et al. (1985)
Criterio de Rotura	McCowan (1891)
Difracción	Holtuijsen (2003)

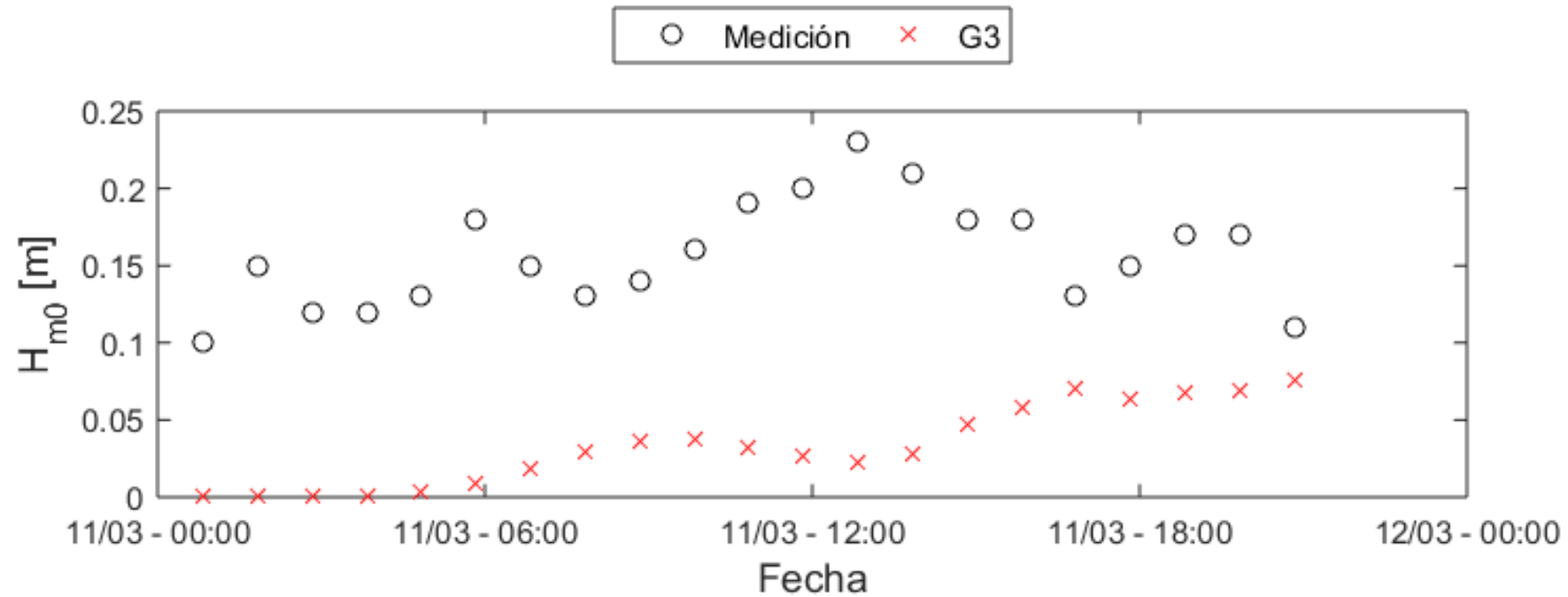
Fuente: Elaboración propia.



Campos de viento del 11/03/2022

Calibración

Ejecución Inicial



Fuente: Elaboración propia.

Calibración

Evaluación de la discretización temporal

Modelo	G3D10m	G3D1h
Modo	No estacionario	No estacionario
Δt	10 minutos	1 hora
Generación	3 ^{ra}	3 ^{ra}
Campos de Viento	Variables en el espacio	Variables en el espacio
Mecanismo Lineal	No activado	No activado
Mecanismo Exponencial	Komen et al. (1984)	Komen et al. (1984)
Whitecapping	Komen et al. (1984)	Komen et al. (1984)
Interacción por Cuadrupletos	Hasselmann et al. (1985)	Hasselmann et al. (1985)
Criterio de Rotura	McCowan (1891)	McCowan (1891)
Difracción	Holtuijsen (2003)	Holtuijsen (2003)

Fuente: Elaboración propia.

Calibración

Evaluación de la discretización temporal

Modelo	G3D10m	G3D1h
Modo	No estacionario	No estacionario
Δt	10 minutos	1 hora
Generación	3 ^{ra}	3 ^{ra}
Campos de Viento	Variables en el espacio	Variables en el espacio
Mecanismo Lineal	No activado	No activado
Mecanismo Exponencial	Komen et al. (1984)	Komen et al. (1984)
Whitecapping	Komen et al. (1984)	Komen et al. (1984)
Interacción por Cuadrupletos	Hasselmann et al. (1985)	Hasselmann et al. (1985)
Criterio de Rotura	McCowan (1891)	McCowan (1891)
Difracción	Holtuijsen (2003)	Holtuijsen (2003)

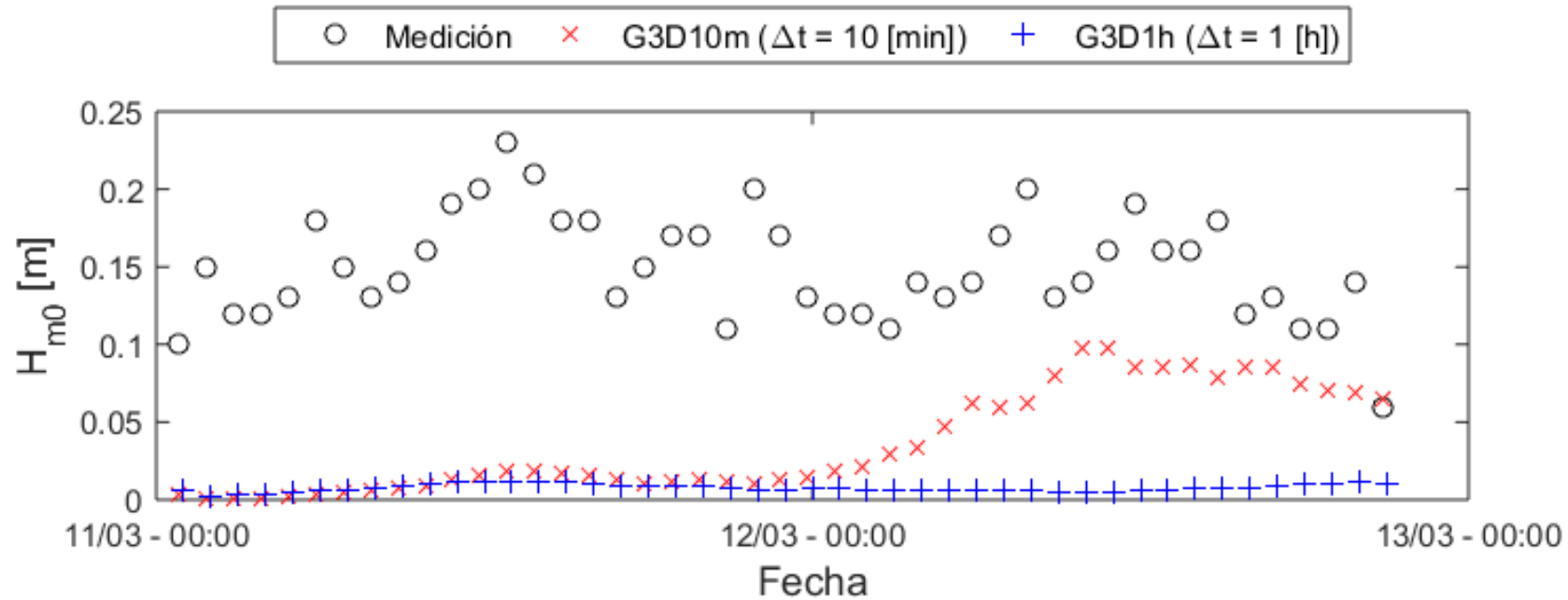


Campos de viento desde el
11/03/2022 hasta el 12/03/2022

Fuente: Elaboración propia.

Calibración

Evaluación de la discretización temporal



Fuente: Elaboración propia.

Calibración

Evaluación de las formulaciones para el viento

Identificador de modelo	G3Bk	G3ABk	G3ABj
Modo	No estacionario	No estacionario	No estacionario
Δt	10 minutos	10 minutos	10 minutos
Generación	3 ^{ra}	3 ^{ra}	3 ^{ra}
Campos de viento	Variables en el espacio	Variables en el espacio	Variables en el espacio
Mecanismo Lineal A	No activado	Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)	Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)
Mecanismo Exponencial B	Komen et al. (1984)	Komen et al. (1984)	Janssen (1989, 1991)

Fuente: Elaboración propia.

Calibración

Evaluación de las formulaciones para el viento

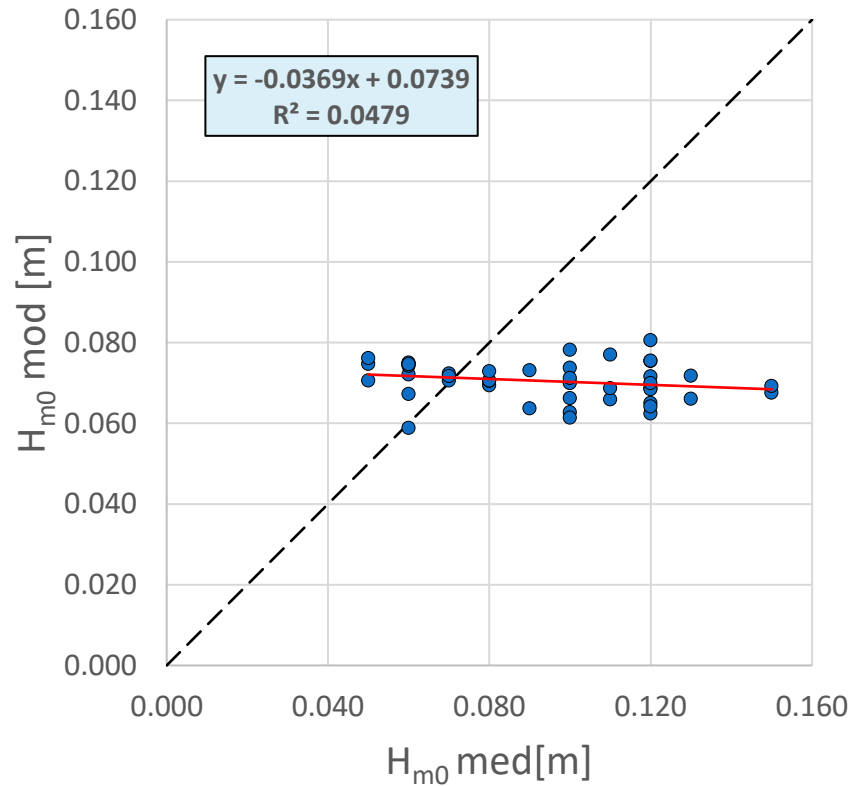
Identificador de modelo	G3Bk	G3ABk	G3ABj
Modo	No estacionario	No estacionario	No estacionario
Δt	10 minutos	10 minutos	10 minutos
Generación	3 ^{ra}	3 ^{ra}	3 ^{ra}
Campos de viento	Variables en el espacio	Variables en el espacio	Variables en el espacio
Mecanismo Lineal A	No activado	Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)	Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)
Mecanismo Exponencial B	Komen et al. (1984)	Komen et al. (1984)	Janssen (1989, 1991)



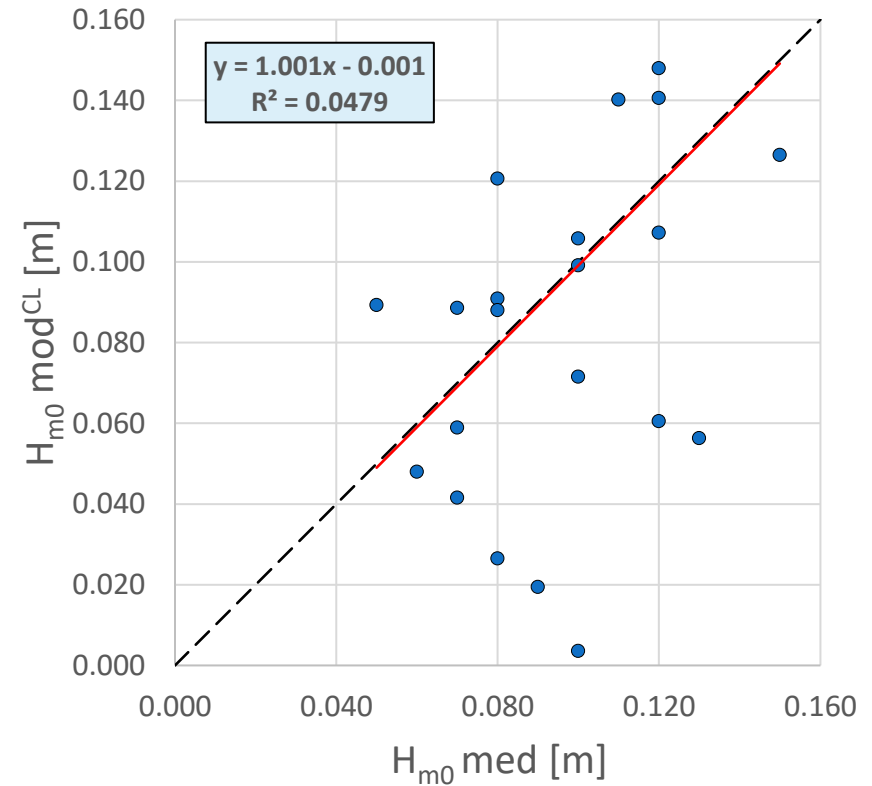
Campos de viento desde el 11/03/2022 hasta el 14/03/2022

Análisis Estadístico de la Calibración

G3Bk



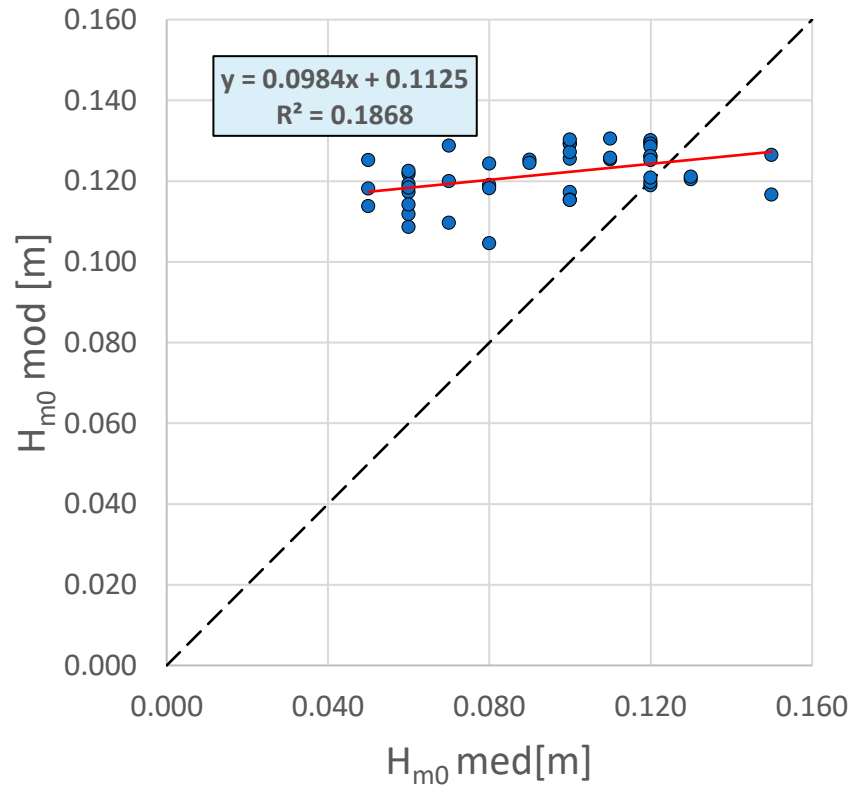
Fuente: Elaboración propia.



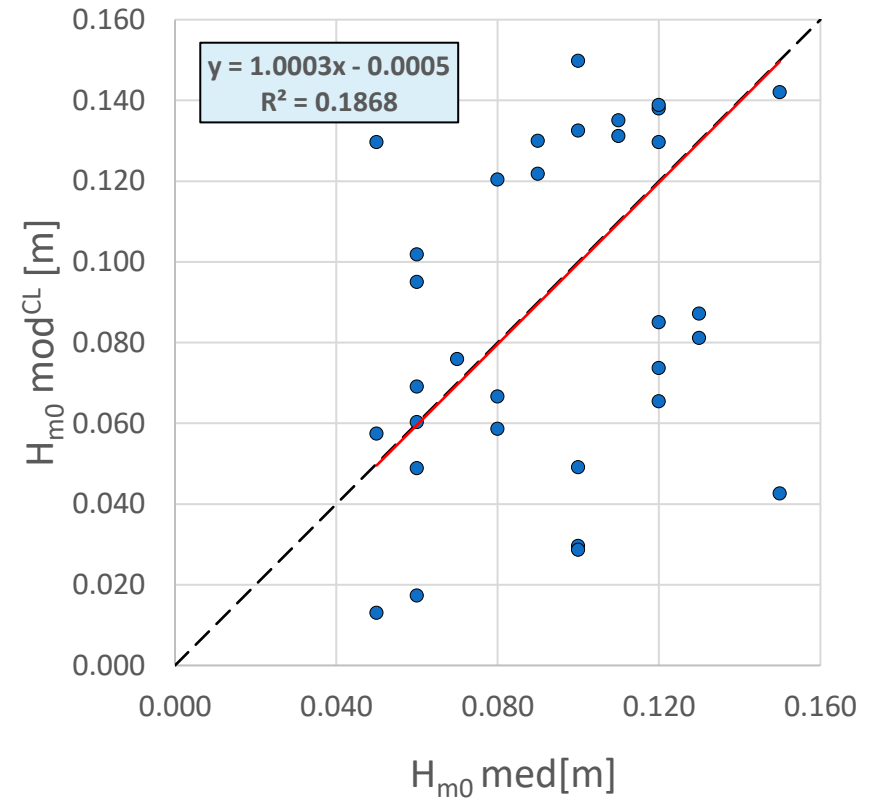
Fuente: Elaboración propia.

Análisis Estadístico de la Calibración

G3ABk



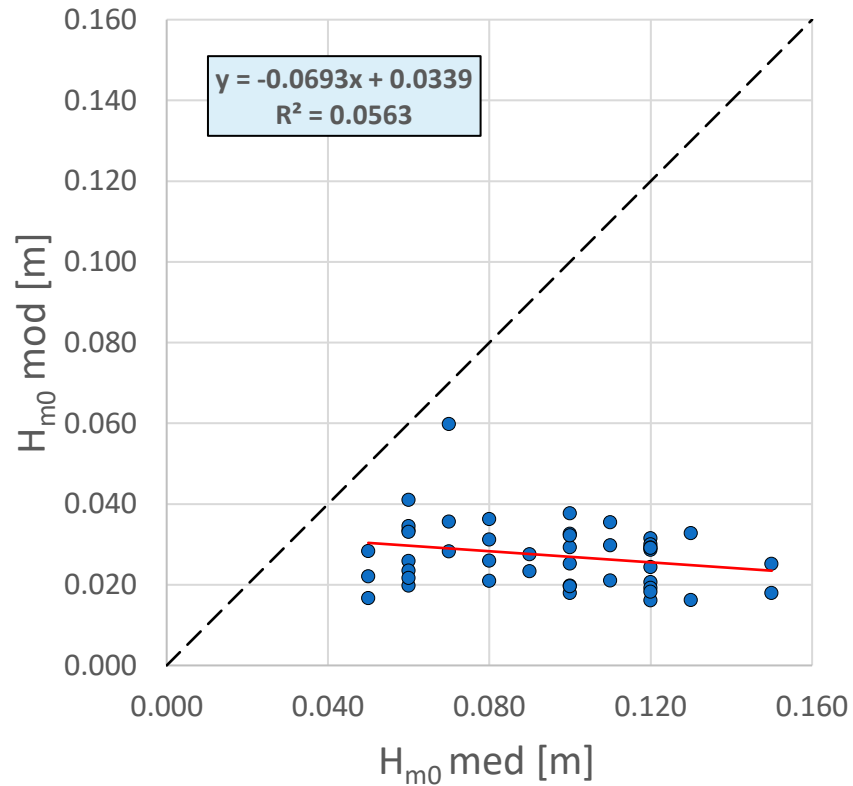
Fuente: Elaboración propia.



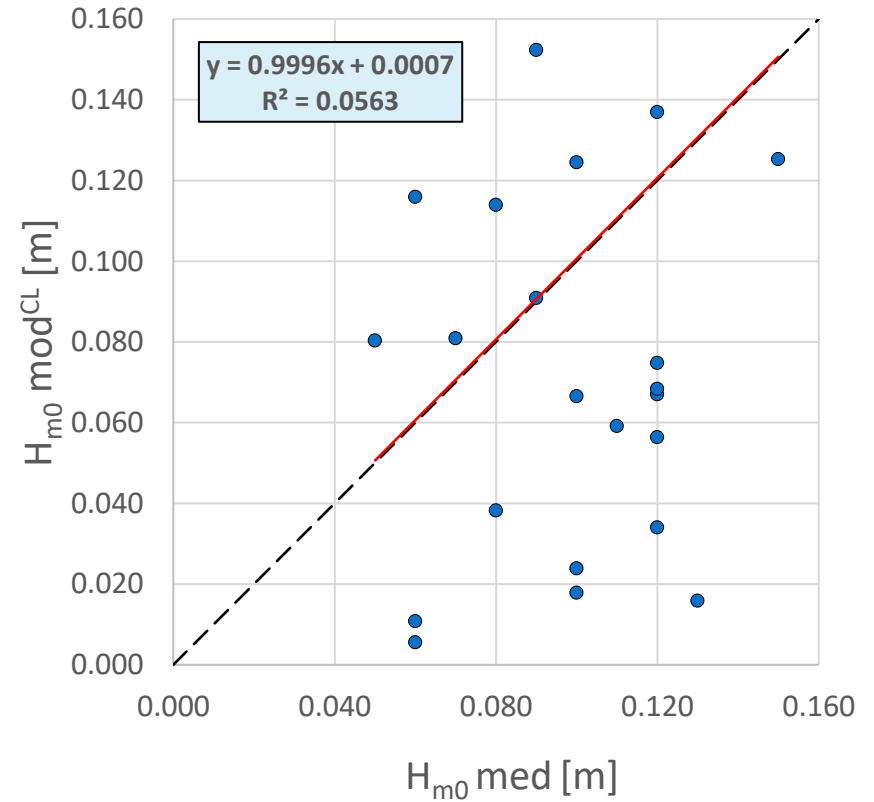
Fuente: Elaboración propia.

Análisis Estadístico de la Calibración

G3ABj



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis Estadístico de la Calibración

Modelo	R^2	$BIAS$ [m]	$RMSE$ [m]	SS	MAE [m]	PDM
G3Bk	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.60
G3ABk	1.00	0.90	0.99	0.01	1.00	0.78
G3ABj	0.06	0.00	0.00	1.00	0.00	0.21

Fuente: Elaboración propia.

Modelo	m	b	σ_{SD}	R^2	$BIAS$ [m]	$RMSE$ [m]	SS	MAE [m]
G3Bk	-0.037	0.074	0.005	0.048	-0.024	0.037	0.381	0.031
G3ABk	0.098	0.113	0.006	0.187	0.028	0.038	0.385	0.031
G3ABj	-0.069	0.034	0.008	0.056	-0.067	0.073	0.748	0.067

Fuente: Elaboración propia.

Análisis Estadístico de la Calibración

Modelo	R^2	$BIAS$ [m]	$RMSE$ [m]	SS	MAE [m]	PDM
G3Bk	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.60
G3ABk	1.00	0.90	0.99	0.01	1.00	0.78
G3ABj	0.06	0.00	0.00	1.00	0.00	0.21

Fuente: Elaboración propia.

Modelo	m	b	σ_{SD}	R^2	$BIAS$ [m]	$RMSE$ [m]	SS	MAE [m]
G3Bk	-0.037	0.074	0.005	0.048	-0.024	0.037	0.381	0.031
G3ABk	0.098	0.113	0.006	0.187	0.028	0.038	0.385	0.031
G3ABj	-0.069	0.034	0.008	0.056	-0.067	0.073	0.748	0.067

Fuente: Elaboración propia.

Análisis Estadístico de la Calibración

Modelo	R^2	$BIAS$ [m]	$RMSE$ [m]	SS	MAE [m]	PDM
G3Bk	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.60
G3ABk	1.00	0.90	0.99	0.01	1.00	0.78
G3ABj	0.06	0.00	0.00	1.00	0.00	0.21

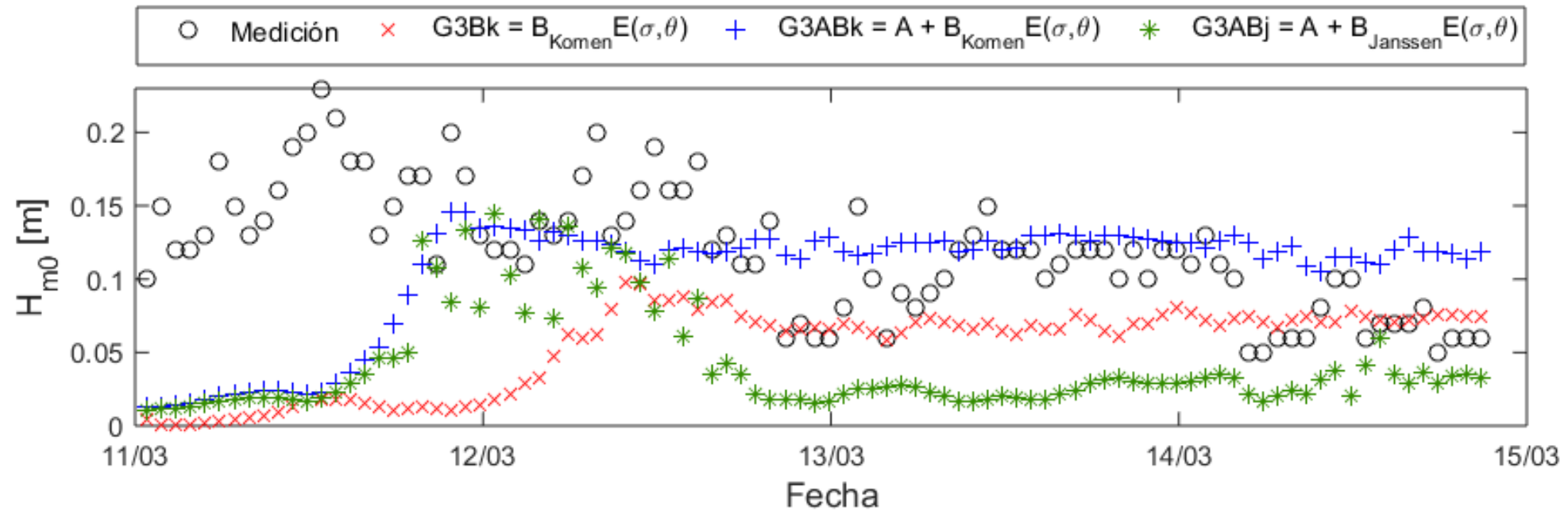
Fuente: Elaboración propia.

Modelo	m	b	σ_{SD}	R^2	$BIAS$ [m]	$RMSE$ [m]	SS	MAE [m]
G3Bk	-0.037	0.074	0.005	0.048	-0.024	0.037	0.381	0.031
G3ABk	0.098	0.113	0.006	0.187	0.028	0.038	0.385	0.031
G3ABj	-0.069	0.034	0.008	0.056	-0.067	0.073	0.748	0.067

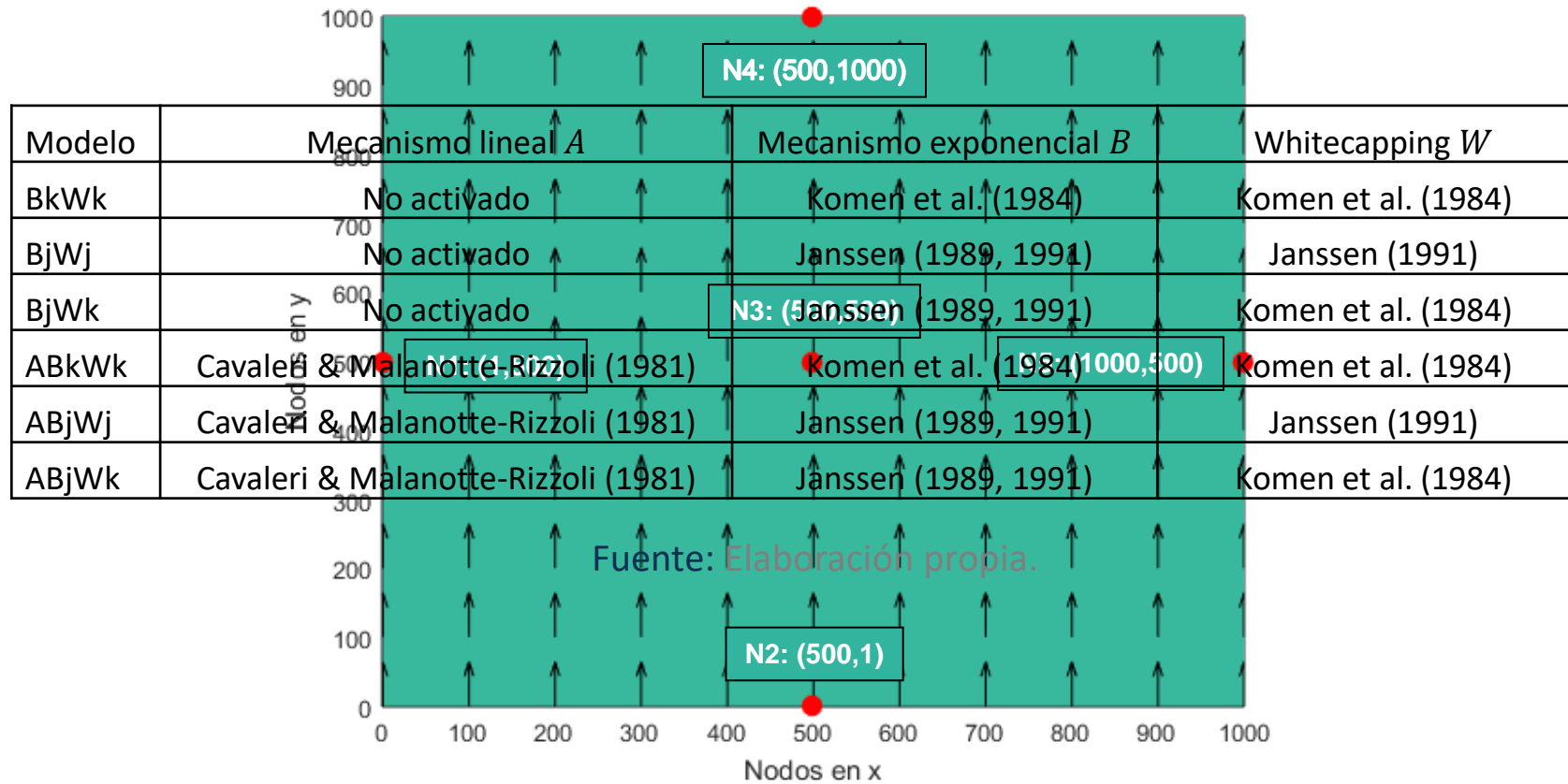
Fuente: Elaboración propia.

Calibración

Evaluación de las formulaciones para el viento



Análisis de las Formulaciones de SWAN



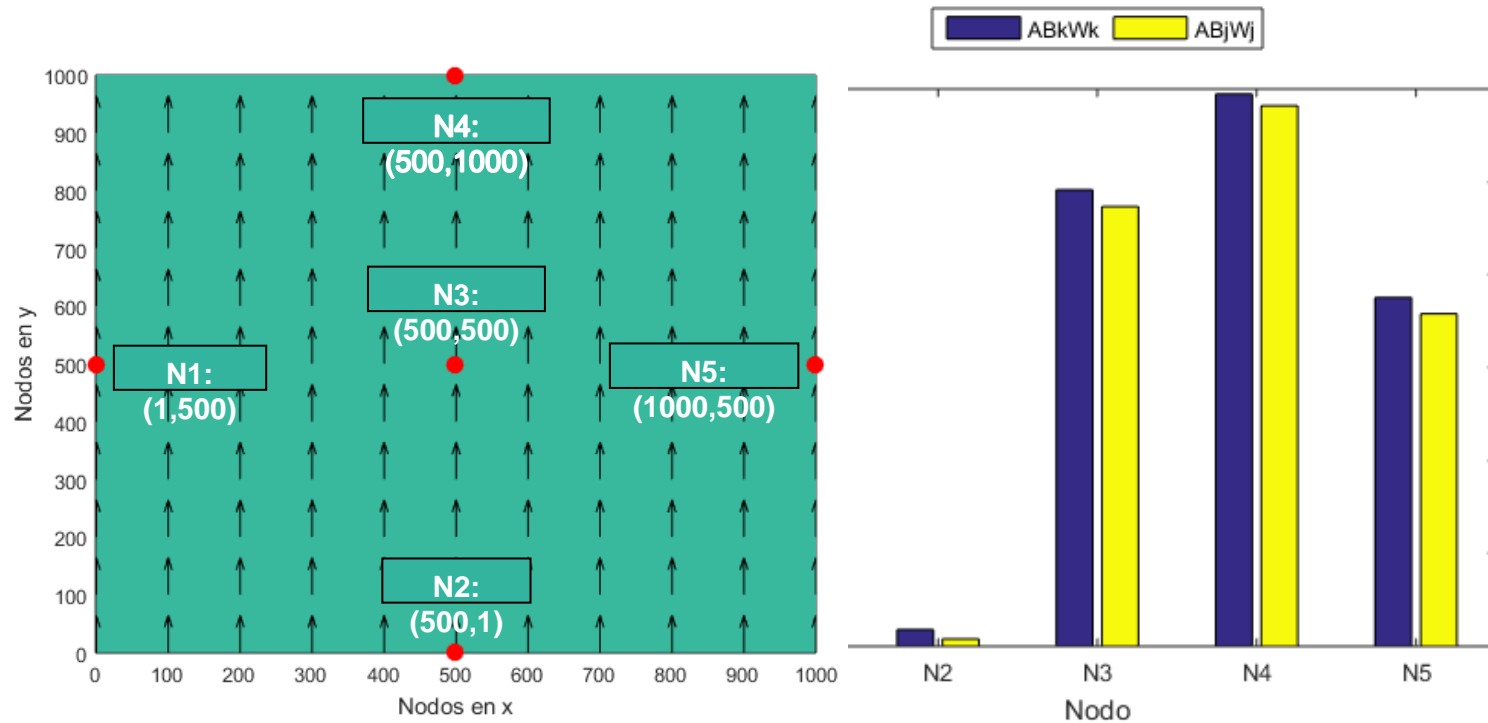
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de las Formulaciones de SWAN

Modelo	Mecanismo lineal A	Mecanismo exponencial B	Whitecapping W
BkWk	No activado	Komen et al. (1984)	Komen et al. (1984)
BjWj	No activado	Janssen (1989, 1991)	Janssen (1991)
BjWk	No activado	Janssen (1989, 1991)	Komen et al. (1984)
ABkWk	Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)	Komen et al. (1984)	Komen et al. (1984)
ABjWj	Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)	Janssen (1989, 1991)	Janssen (1991)
ABjWk	Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)	Janssen (1989, 1991)	Komen et al. (1984)

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de las Formulaciones de SWAN

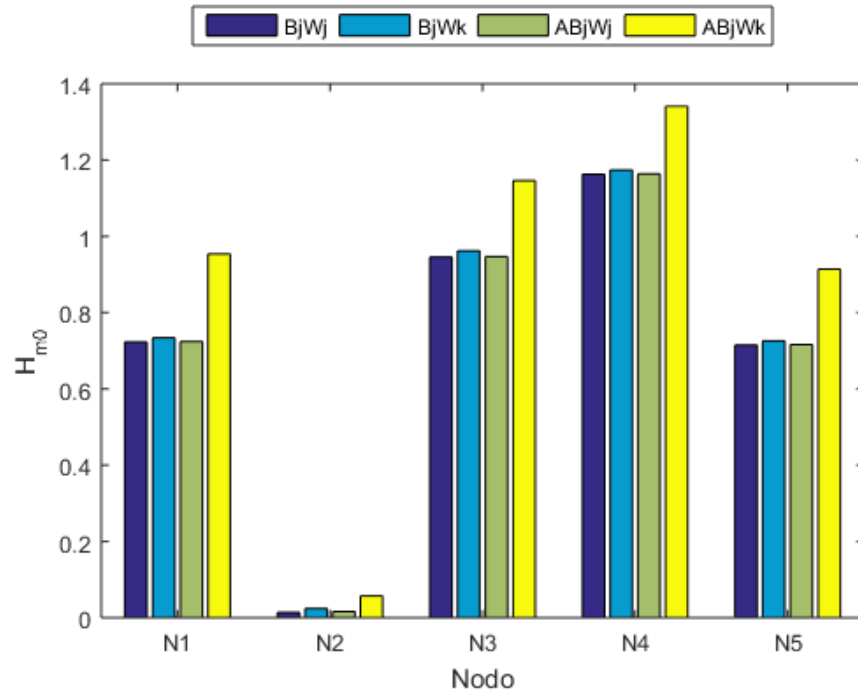


Fuente: Elaboración propia.

Modelo					
ABkWk	Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)	ABkWk/ABjWj. (1984)		Komen et al. (1984)	
ABjWj	Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)	Janssen (1989, 1991)		Janssen (1991)	
	N1	N2	N3	N4	N5
	4%	12%	4%	2%	5%

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de las Formulaciones de SWAN

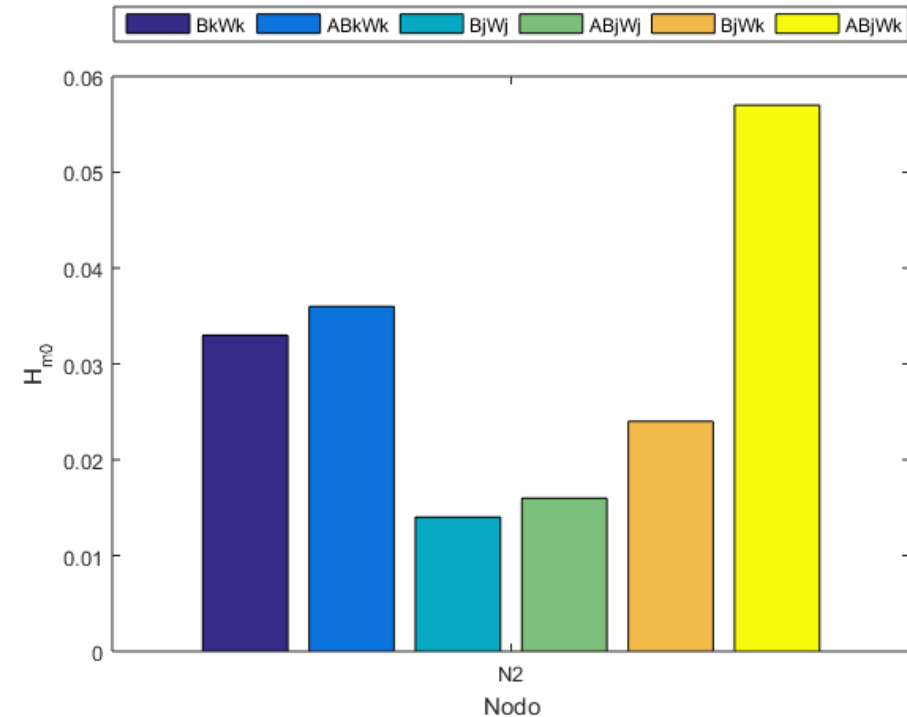
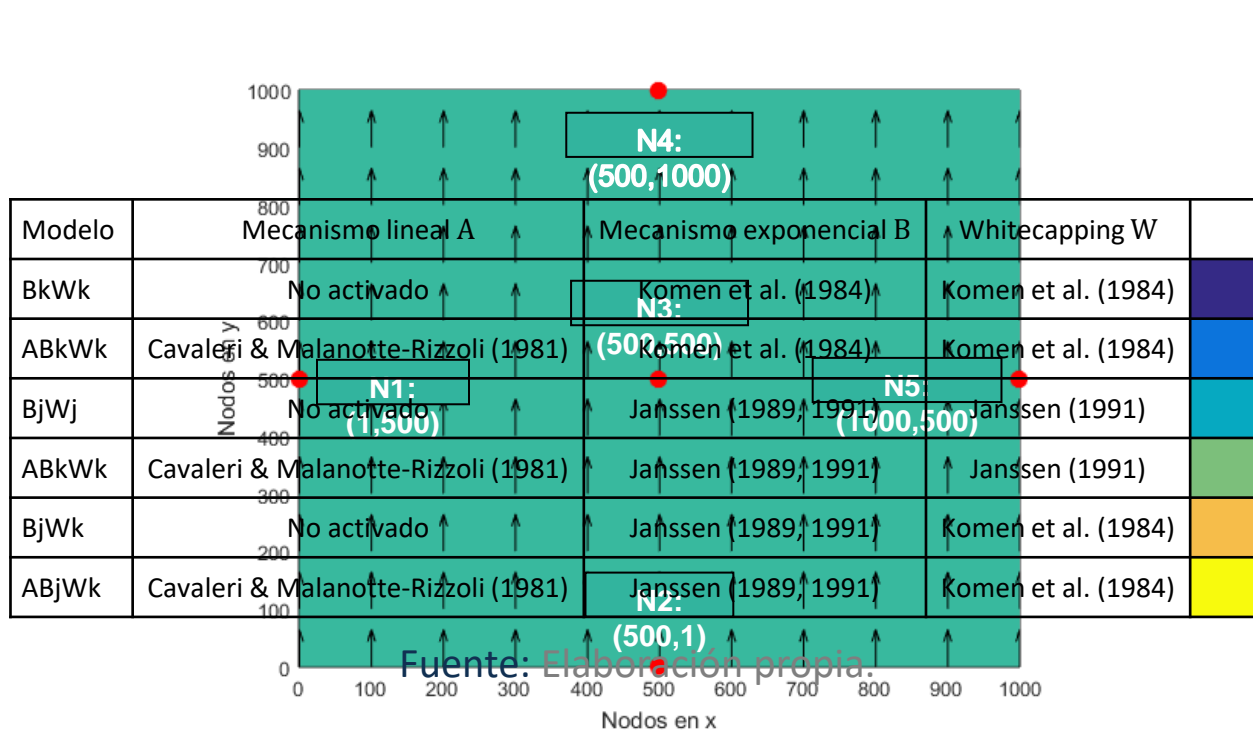


Fuente: Elaboración propia.

		BjWj / BjWk			ABjWj / ABjWk				
		No activado			No activado				
		Cavaleri & Malanotte-Rizzoli (1981)			Janssen (1989, 1991)		Komen et al. (1984)		
N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5
1.5%	69.7%	1.7%	1%	1.5%	32%	25.5%	21%	15%	28%

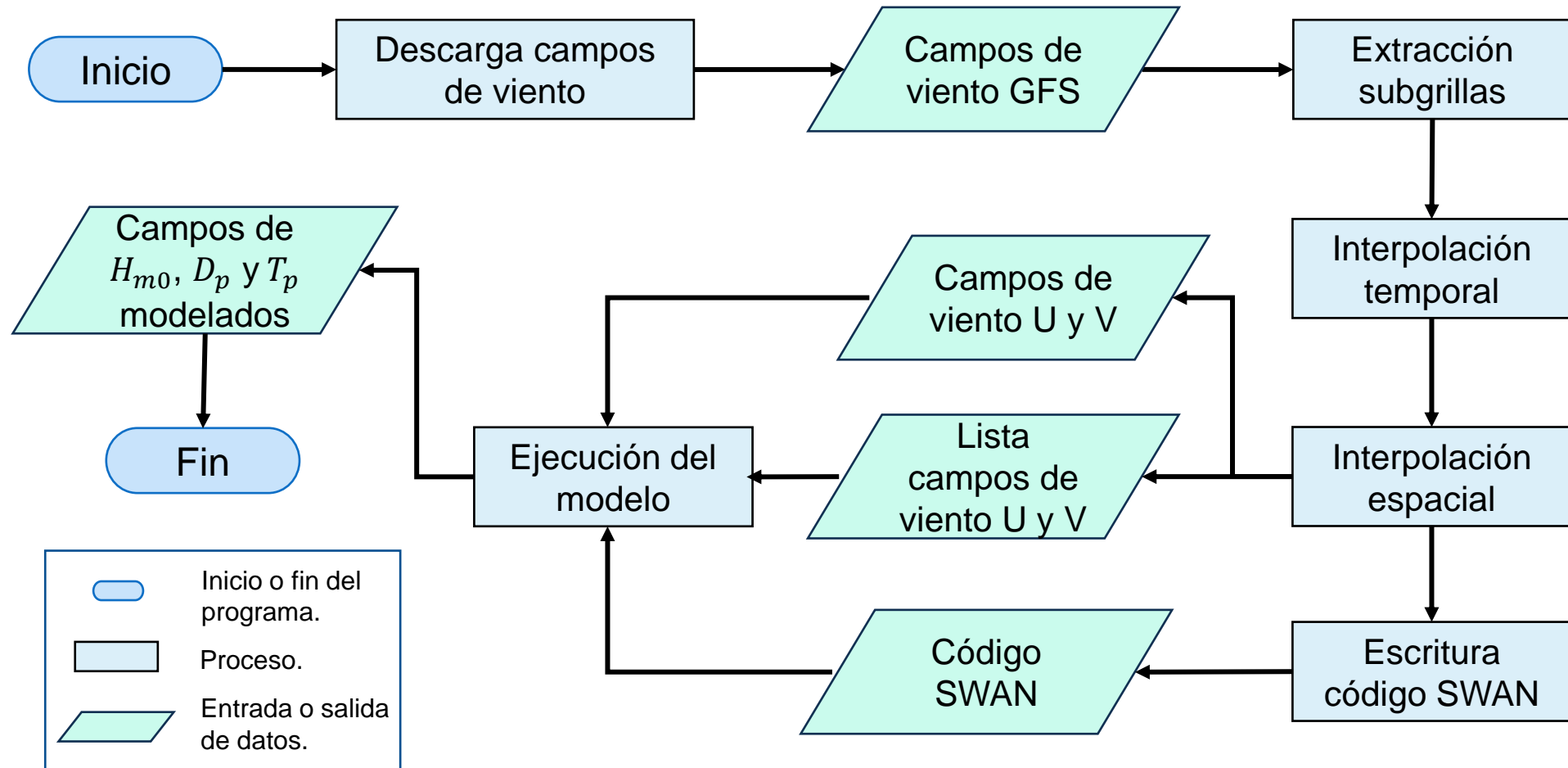
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de las formulaciones de SWAN



ABkWk/BkWk	ABjWj/BjWj	ABjWk/BjWk
6.9%	14.8%	70%

Modelo operacional

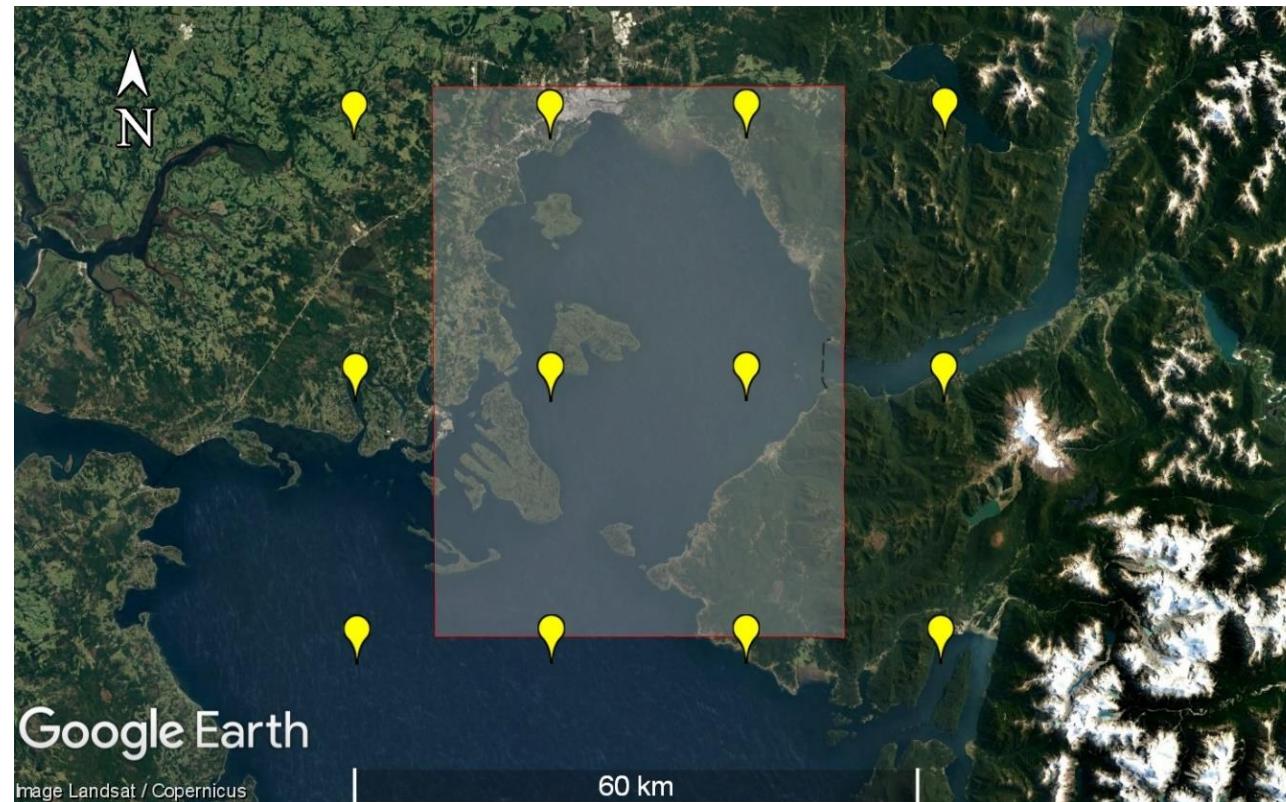


6.

CONCLUSIONES

Influencia de los campos de viento

Modelo ERA5 (Hersbatch *et al.*, 2018)



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Consideraciones al utilizar SWAN



El mecanismo lineal presenta mayor influencia en donde comienza a formarse el oleaje.



La parametrización para el whitecapping de Janssen es más disipativa para el mar de viento.



La resolución temporal debe ser igual o menor a 10 minutos al ejecutar SWAN en modo no estacionario.

Desempeño del modelo

- G3ABk obtuvo el mejor desempeño (PDM = 0.78)

Recomendaciones:

1.

Datos batimétricos de mayor resolución.

2.

Base de datos de viento con mayor resolución temporal y espacial.

3.

Registros de oleaje en zonas abiertas del Seno de Reloncaví.

Tiempos de ejecución

Modelo	Tiempo de Ejecución [HH:MM:SS]
G3	09:22:45
G3D10m	33:34:55
G3D1h	21:41:48
G3Bk	37:10:51
G3ABk	47:12:48
G3ABj	37:56:52

Fuente: Elaboración propia.



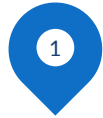
Crear un archivo de inicio para disminuir el tiempo de warming up.



Utilizar un hardware con mayor capacidad de cómputo.

Oportunidades

Mejora de la resolución temporal y espacial de el/los modelos de viento



Elaboración de registros de oleaje en zonas abiertas



Estudio de valores umbral para emitir alertas



Evaluación de otra base de datos de viento



Calibración y validación de los datos de oleaje



Generación de una interfaz gráfica



7.

REFERENCIAS

Referencias

- Beyá, J., Álvarez, M., Gallardo, A., Hidalgo, H., & Winckler, P. (2017). Generation and validation of the Chilean Wave Atlas database. *Ocean Modelling*, 116, 16-32.
- Bhowmick, S., Kumar, R., Chaudhuri, S., & Sarkar, A. (2011). Sensitivity Study of a Coastal Wave Model for Prediction of Ocean Waves over Indian Ocean Region. *Marine Geodesy*, 34, 167-180.
- Cavaleri, L., & Malanotte-Rizzoli, P. (1981). Wind wave prediction in shallow water: Theory and applications. *Journal of Geophysical Research*, 86, 961-973.
- CDOM. (2016). *Centro de datos oceanográficos y meteorológicos. COPAS Sur-Austral, CONICYT PIA PFB-31 / APOYO CCTE AFB170006*. Recuperado el 03 de 01 de 2023, de <http://www.cdom.cl/index.php>
- Ciavola, P., & Coco, G. (2017). *Coastal Storms: Processes and Impacts*. Wiley-Blackwell.
- DIRECTEMAR. (2016). Circular Marítima de la Capitanía de Puerto de Puerto Montt. *Establece procedimiento ante condiciones de mal tiempo para la jurisdicción de la Capitanía de Puerto de Puerto Montt*. Chile: Capitanía de Puerto de Puerto Montt.

Referencias

- Gallardo, A., & Álvarez, M. (2017). *Un Atlas de Oleaje para Chile, Informe Técnico 01: Definición de estadígrafos de calidad de ajuste*.
- Google. (s.f. a). *Google Earth*. Recuperado el 03 de 01 de 2023.
- Google. (s.f. b). *Google Earth*. Recuperado el 03 de 01 de 2023
- Google. (s.f. c). *Google Earth*. Recuperado el 03 de 01 de 2023
- Google. (s.f. d). *Google Earth*. Recuperado el 03 de 01 de 2023
- Google. (s.f. e). *Google Earth*. Recuperado el 03 de 01 de 2023
- Google. (s.f. f). *Google Earth*. Recuperado el 03 de 01 de 2023
- Hasselmann, K. (1974). On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping. *Boundary-Layer Meteorology*, 6, 107-127.
- Hasselmann, S., Hasselmann, K., Allender, J., & Barnett, T. (1985). Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum. Part II: Parameterizations of the nonlinear transfer for application in wave models. *Journal Physical Oceanography*, 15, 1378-1391.

Referencias

- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., . . . Thépaut, J.-N. (2018). *ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present*. Retrieved 12 28, 2022, from Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS): <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
- Holthuijsen, L. (2007). *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press.
- Holtuijsen, L., Herman, A., & Booij, N. (2003). Phase-decoupled refraction-diffraction for spectral wave models. *Coastal Engineering*, 49, 291-305.
- Janssen, P. (1989). Wave induced stress and the drag of air flow over sea waves. *Journal of Physical Oceanography*, 19, 745-754.
- Janssen, P. (1991). Quasi-linear theory of wind-wave generation applied to wave forecasting. *Journal of Physical Oceanography*, 21, 1631-1642.
- Komen, G., Hasselmann, S., & Hasselmann, K. (1984). On the existence of a fully developed wind-sea spectrum. *Journal Physical Oceanography*, 14, 1271-1285.
- Liu, Z., & Frigaard, P. (1999). *Generation and Analysis of Random Waves*. Aalborg Universitet.
- Marejadas UV. (2017). Recuperado el 04 de 01 de 2023, de <https://marejadas.uv.cl/>

Referencias

- McCowan, J. (1891). On the solitary wave. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 32, 45-48.
- MDN. (2020). Reglamento General de Orden, Seguridad y Disciplina en las Naves del Litoral de la República. Chile: Armada de Chile.
- Miles, J. (1957). On the generation of surface waves by shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, 3, 185-204.
- Montecinos, G. (2021). *Implementación del modelo XBEACH para el pronóstico de oleaje en la bahía de Cartagena, V Región, Chile*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil.
- Montoya , R., & Osorio, A. (2007). *Los modelos de generación de oleaje de viento: características, evolución y futuras aplicaciones en Colombia*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- NOAA. (2009). *NOMADS-NOAA Operational Model Archive and distribution system*. Recuperado el 12 de 07 de 2022
- Phillips, O. (1957). On the generation of waves by turbulent wind. *Journal of Fluid Mechanics*, 2, 417-115.
- Ris, R., Holthuijsen, L., & Booij, N. (1999). A third-generation wave model for coastal regions: 2. Verification. *Journal of Geophysical Research*, 104, 7667-7681.
- Siles Soria, G. (2022). REANÁLISIS CLIMATOLÓGICO ERA5: UNA REVISIÓN SOBRE SU USO EN EL CÁLCULO DE ATENUACIÓN ATMOSFÉRICA EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES SATELITALES. *Investigación & Desarrollo*, 22, 145-159.

Referencias

- Silva, R. (Septiembre de 2005). *Análisis y descripción estadística del oleaje*. Ciudad Universitaria, México: Univerisad Nacional Autónoma de México.
- Soto-Mardones, L., Letelier, J., Salinas, S., Pinillas, E., & Belmar, J. (2009). Análisis de parámetros oceanográficos y atmosféricos del seno de Reloncaví. *Gayana (Concepción)*, 73, 141-155.
- The SWAN Team. (2006). *Scientific and Technical Documentation SWAN Cycle III Version 40.51*. Delft University of Technology.
- The SWAN Team. (2006). *User Manual SWAN Cycle III Version 40.51*. Delft University of Technology.
- Thompson, D. (1992). Numerical Methods 101 - Convergence of Numerical Models. USGS Staff - Published Research.
- Universidad de Chile. (2012). *Explorador Eólico Versión 2012*. (Ministerio de Energía; , GIZ) Recuperado el 29 de 06 de 2022, de <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>
- Winckler, P. (2021a). *Guía para el Modelado de la Hidrodinámica y el Proceso de Mezcla de Descargas Salinas y Térmicas Asociadas a Proyectos de Plantas Termoeléctricas y Desalinizadoras*. DIRECTEMAR.

Referencias

- Winckler, P. (2021b). *Introducción al modelado de procesos costeros. Apuntes de clases*. Valparaíso, Chile: Universidad de Valparaíso.
- Zambresky, L. (1988). *A verification study of the global WAM model, December 1987 - November 1988*. GKSS Forschungszentrum Geesthacht GMBH Report GKSS 89/E/37.

DESARROLLO PRELIMINAR DE UN MODELO OPERACIONAL PARA PRONÓSTICOS DE OLEAJE EN EL SENO DE RELONCAVÍ, REGIÓN DE LOS LAGOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL OCEÁNICO

JORGE PÉREZ SILVA
VALPARAÍSO, ENERO 2023