



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

SIMULACIÓN DE LA TORMENTA DEL 08 DE AGOSTO DE 2015, USANDO UN MODELO ATMOSFÉRICO REGIONAL DE ALTA RESOLUCIÓN.

María José Araya Lobos

Mayo 2024

SIMULACIÓN DE LA TORMENTA DEL 08 DE AGOSTO DE 2015, USANDO UN
MODELO ATMOSFÉRICO REGIONAL DE ALTA RESOLUCIÓN.

María José Araya Lobos

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
Dra. Catalina Aguirre Galaz		
Profesora guía	_____	_____
Sergio Bidart Loyola		
Revisor	_____	_____
Sebastián Correa Araya		
Revisor	_____	_____

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

María José Araya Lobos

Catalina Aguirre Galaz

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mis padres por su infinita paciencia, a mi familia por su amor, apoyo y confianza en estos años.

A mis amigos, que hicieron de este proceso una montaña rusa de divertidos momentos, de compañerismo y horas de trabajo.

Al Laboratorio de Computación de Alto Rendimiento (NLHPC), centro nacional de supercomputación en Chile, por el acceso al Cluster Guacolda-Leftraru y su alta capacidad computacional.

A la Universidad Playa ancha, por las bases de datos de las estaciones meteorológicas que poseen en la zona.

Finalmente, a mi profesora Guía Catalina Aguirre, por siempre mostrarse disponible y ser una gran motivadora.

CONTENIDOS

Declaración.....	i
Agradecimientos.....	ii
Contenidos	iii
Lista de figuras	v
Lista de tablas.....	vi
Resumen	vii
1 Introducción	1
2 Objetivos y Alcances	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3 Alcances y limitaciones.....	2
4 Marco teórico.....	3
4.1 Modelo Regional Atmosférico	3
4.1.1 Ecuaciones de Gobierno	3
4.1.1.1 Variables de coordenadas verticales y de forma de flujo	3
4.1.1.2 Ecuaciones de flujo de Euler	4
4.1.1.3 Proyecciones de mapas, términos de Coriolis y curvatura.....	5
4.1.2 Parametrizaciones físicas.....	7
4.2 Tormenta 08 de agosto de 2015.....	8
5 Metodología.....	12
5.1 Descripción de las simulaciones	12
5.1.1 Proceso de simulación.....	13
5.1.2 Área de estudio	14
5.1.3 Condiciones de borde.....	16
5.1.4 Parametrizaciones.....	16
5.2 Fuentes de información	17
5.2.1 Sistema de reanálisis de pronóstico del clima (CFSR).....	18
5.2.2 ECMWF reanálisis v5 (ERA5).....	18
5.2.3 Estaciones Meteorológicas	18
5.3 Procesamiento de los datos.....	20
5.3.1 Parámetros estadísticos	20
5.3.2 Normalización de los datos.....	21
5.4 Validación de simulaciones.....	21
6 Resultados.....	23
6.1 Relación física entre variables	23
6.1.1 Perfiles presión atmosférica y Viento	23
6.1.2 Perfiles Viento y temperatura.....	24
6.2 Comparación de una simulación con la estación meteorologica de las Cruces..	25
6.2.1 Gráfico de dispersión.....	25
6.2.2 Comparación resultados de la misma estación versus dos forzantes diferente.....	27
6.3 Comparación de todas las simulaciones con la estación meteorologica las Cruces.....	28
6.3.1 Viento	29
6.3.2 Temperatura.....	31
6.3.3 Presión atmosférica.....	33
6.4 Parámetros estadísticos	34

7	Discusión y recomendaciones	38
8	Conclusiones	40
9	Referencias	41
10	Anexo	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Niveles coordenada vertical sigma.....	4
Figura 2: Interacción entre procesos atmosféricos.....	7
Figura 3: Índice de intensidad del Anticiclón del Pacífico Sur, entre el periodo enero de 2015 a septiembre de 2018.	10
Figura 4: Carta superficial de presiones 08 de agosto de 2015.....	11
Figura 5: Representación esquemática de flujo de información modelo WRF.....	13
Figura 6: Mapa configuración de dominios.....	15
Figura 7: Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas para la validación de los modelos.....	19
Figura 8: Esquema de metodología empleada para la elección del mejor modelo.	20
Figura 9: Campos de presión atmosférica (hPa), velocidad del viento (m/s) y dirección del viento (vector), para las simulaciones dentro de la zona de estudio (Dominio 1).....	24
Figura 10: Campos de temperatura (°C), velocidad del viento (m/s) y dirección del viento (vector) para las simulaciones dentro de la zona de estudio (Dominio 1).....	25
Figura 11: Gráficos de dispersión de la estación meteorológicas Las Cruces.	26
Figura 12: Gráfico de las diferentes variables, a la izquierda con forzamiento de CFSR y a la derecha con forzamiento de ERA5.....	27
Figura 13: Estadígrafos presentados en a) Diagrama de Taylor y b) Evolución temporal del cambio de la velocidad del viento en el periodo 05 a 11 de agosto de 2015, en la estación Las Cruces, para cada uno de los Dominios.....	29
Figura 14: Estadígrafos presentados en Diagrama de Taylor y evolución temporal del cambio de la temperatura en el periodo 05 a 11 de agosto de 2015, en la estación Las Cruces, para cada uno de los Dominios.....	31
Figura 15: Estadígrafos presentados en Diagrama de Taylor y evolución temporal del cambio de la presión atmosférica en el periodo 05 a 11 de agosto de 2015, en la estación Las Cruces, para cada uno de los Dominios.	33
Figura 16: Gráfico de indicador de desempeños de las diferentes variables en cada uno de los modelos y en cada dominio.	35
Figura 17: Promedio anual del índice del anticiclón del Pacífico Sur de 1970 a 2017	47
Figura 18: Estadígrafos presentados en Diagrama de Taylor y evolución temporal del cambio de la velocidad de viento en el periodo 05 a 11 de agosto de 2015, en la estación Meteorología Principal, para cada uno de los Dominios.....	49
Figura 19: Estadígrafos presentados en Diagrama de Taylor y evolución temporal del cambio de la velocidad de viento en el periodo 05 a 11 de agosto de 2015, en la estación Concón, para cada uno de los Dominios.....	49
Figura 20: Estadígrafos presentados en Diagrama de Taylor y evolución temporal del cambio de la temperatura en el periodo 05 a 11 de agosto de 2015, en la estación Meteorología Principal, para cada uno de los Dominios.....	50
Figura 21: Estadígrafos presentados en Diagrama de Taylor y evolución temporal del cambio de la temperatura en el periodo 05 a 11 de agosto de 2015, en la estación Concón, para cada uno de los Dominios.....	50
Figura 22: Estadígrafos presentados en Diagrama de Taylor y evolución temporal del cambio de la presión atmosférica en el periodo 05 a 11 de agosto de 2015, en la estación Meteorología Principal, para cada uno de los Dominios.....	51

Figura 23: Estadígrafos presentados en Diagrama de Taylor y evolución temporal del cambio de la presión atmosférica en el periodo 05 a 11 de agosto de 2015, en la estación Concón, para cada uno de los Dominios.....	51
Figura 24: Campo de temperatura para las simulaciones dentro de la zona de estudios (Dominio 1)	54
Figura 25: Campo de presión atmosférica para las simulaciones dentro de la zona de estudio (Dominio 1).....	55
Figura 26: Perfil de velocidad de viento para las simulaciones dentro de la zona de estudio (dominio 1).....	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Características de la configuración del modelo WRF.	12
Tabla 2: Ejes coordenados de dominios	14
Tabla 3: Resumen configuración de proyección de los dominios.	16
Tabla 4: Escenarios de simulación para la calibración del modelo WRFv4.0.3.	16
Tabla 5: Clasificación de valores del coeficiente de correlación de Pearson.	22
Tabla 6: Resumen de los tres modelos con mejor rendimiento en las diferentes variables y dominios.	34
Tabla 7: Esquema de parámetros físicos final.....	36
Tabla 8: Parametrizaciones de procesos físicos disponibles para el Esquema Cúmulos en WRFv4.0.3.....	44
Tabla 9: Parametrizaciones de procesos físicos disponibles para el Esquema Microfísico en WRFv4.0.3.....	44
Tabla 10: Parametrizaciones de procesos físicos disponibles para el esquema de Radiación de onda corta en WRFv4.0.3.....	45
Tabla 11: Parametrización de procesos físicos disponibles para el esquema de Radición de onda larga en WRFv4.0.3.	45
Tabla 12: Parametrizaciones de procesos físicos disponibles para el esquema de Superficie en WRFv4.0.3.	45
Tabla 13: Parametrizaciones de procesos físicos disponibles para el esquema de Capa Limite en WRFv4.0.3.	45
Tabla 14: Detalle de estaciones meteorológicas utilizadas en la validación del modelo....	46
Tabla 15: Rendimiento de la totalidad de modelos en las respectivas variables y dominios.:	47
Tabla 16: Estadígrafos de las estaciones meteorológicas en Dominio 1	52
Tabla 17: Estadígrafos de las estaciones meteorológicas en Dominio 2	53
Tabla 18: Estadígrafos de las estaciones meteorológicas en Dominio 3	54

RESUMEN

La tormenta del 08 de agosto de 2015 ha sido uno de los sistemas frontales más destructivo y anómalo que se ha presenciado en la última década en la costa de Chile central, resultando con consecuencias devastadoras, desde inundaciones, modificaciones de la configuración de playas, hasta la destrucción de infraestructuras y pérdidas de vidas.

En el presente trabajo se muestra la calibración y validación de la tormenta del 08 de agosto de 2015, mediante la implementación del modelo WRF versión 4.0.3. Para ello, se elaboró una propuesta de metodología que incluyó el análisis de variables y análisis de desempeño de los modelos en base a la configuración física.

Se utilizó el modelo Weather Research and Forecasting (WRF) para analizar la sensibilidad de las variables meteorológicas de viento, temperatura y presión atmosférica superficial a diferentes esquemas de parametrizaciones físicas disponibles. La metodología consistió en la implementación de 3 dominios anidados, que abarcan desde la zona norte hasta la zona sur de Chile en el dominio más extenso, y enfocándose en la zona central de las costas del país con los dominios de mayor resolución. Se evalúa el desempeño de diferentes esquemas físicos a través de la implementación de 16 simulaciones, las que consisten en la modificación de parámetros en 3 modelos con esquemas de microfísica, 4 modelos con esquemas de onda larga, 4 modelos con esquema de onda corta, 3 modelos con esquemas de capa límite planetaria; los restantes corresponden a un modelo con ajustes predeterminado por WRF4.0.3 y el último al cambio de forzante del reanálisis CFSR a ERA5.

La interacción entre variables es determinante al momento de analizar el comportamiento de estas, la relación de las isobaras con gradientes altos de la presión atmosférica y la intensidad del viento, la acción del viento en el comportamiento de la temperatura y su variación en el tiempo. El análisis de sensibilidad, demostró que, al introducir cambios en las parametrizaciones de microfísica, se produce el aumento de los índices de desempeño, siendo el esquema de Kessler (esquema simple de nubes cálidas que incluyen vapor de agua, agua de nube y lluvia), el que presenta los mejores resultados con la simulación 04 y ajustes con el forzamiento CFSR, pero al incluir y comparar con el re-análisis ERA5, se comprueba que la misma configuración alcanza mejores ajustes tornándose por consiguiente en el nuevo mejor modelo (mod-16).