

Original: Diciembre 2015

**GENERACIÓN DE PRONÓSTICO DIARIO DEL ESTADO DEL TIEMPO (VIENTOS,
OLEAJES) PARA EL MAR CARIBE Y EL OCÉANO PACÍFICO COLOMBIANO**

Ígor Málikov

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM
SUBDIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA
Bogotá, D. C., Diciembre 2015

CONTENIDO

	RESUMEN	3
1	INTRODUCCIÓN	4
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	6
2.1.	DATOS UTILIZADOS	6
2.2.	MÉTODOS Y ECUACIONES UTILIZADAS	8
3.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	12
3.1.	COMPARACIÓN DE LOS MODELOS NWW3 Y WNA PARA LOS 12Z	12
3.2.	COMPARACIÓN DE LOS MODELOS NWW3 Y NAH PARA LOS 00Z	23
	CONCLUSIONES	30
	BIBLIOGRAFÍA	32

RESUMEN

Se presentan las actividades desarrolladas para que en forma automática se analicen estadísticamente datos provenientes de los modelos NOAA Wave Watch III (NWW3), Western North Atlantic (WNA) y North Atlantic Hurricane (NAH) y de la boya 42058 ubicada en el mar Caribe en las coordenadas 14°55'23" N - 74°55'4" W. Se muestran pruebas del script implementado en lenguaje Python para la estadística descriptiva comparativa de la altura de la ola, periodicidad de la ola, dirección y velocidad del viento entre datos pronosticados y registrados por la boya. Se realiza la verificación de la habilidad de los modelos NWW3, WNA y NAH de pronosticar los datos registrados por la boya. Se dan a conocer las ecuaciones utilizadas tanto para la estadística descriptiva como para la verificación de los modelos con relación a la boya, con información obtenida de salidas diarias de las 12Z para el 2015 y de las 00Z para 2014-2015.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se dan a conocer los resultados de los objetivos planteados en el Contrato de Prestación de Servicios No. 248/2015.

OBJETIVO GENERAL:

Prestar servicios profesionales para generar pronóstico diario del estado del tiempo (vientos, oleajes) para el mar Caribe y el océano Pacífico Colombiano.

Durante el desarrollo del presente contrato se han cumplido las obligaciones pactadas entre las cuales están la asistencia a las reuniones relacionadas con el objeto del contrato, y la realización de las actividades concernientes a las obligaciones del mismo, cumpliendo un cronograma mensual de entrega de los avances obtenidos mediante los siguientes productos:

- 1) Copia de seguridad de los datos de las variables meteomarinas extraídas durante el año 2014 hasta lo corrido del año 2015, tanto de los modelos como de la boya ubicada y reportada por la NOAA en el mar Caribe, en un nodo de Clúster de IDEAM.
- 2) Base de datos en formato Excel de las variables meteomarinas que fueron recopilados durante el año 2014 – 2015 como resultado de post-proceso del rescate de los datos a partir del modelo NWW3 y NAH para áreas marítimas del Pacífico y Caribe colombiano, para que puedan ser entendidos en un lenguaje de programación.
- 3) Base de datos con las variables meteomarinas observadas en la boya central del Caribe estación 42058.
- 4) Código fuente en lenguaje GRADS de la implementación de los datos del modelo NWW3 de las 12Z con los estándares utilizados para el modelo de las 00Z durante el período, con la revisión diaria de la web de la NOAA y la respectiva actualización.
- 5) Código fuente de la organización de los datos de las variables meteomarinas (oleaje y viento) que fueron recopilados durante el año 2014 como resultado del post proceso del rescate de los datos a partir del modelo NWW3 y NAH para las áreas marítimas del Pacífico y Caribe Colombiano.
- 6) Código fuente en lenguaje GRADS programado y actualizado para dos descargas diarias (00Z y 12Z) de los datos de altura de la ola primaria, dirección y velocidad del viento del modelo global NWW3 y de los modelos regionales NAH

y ENP desde los servidores de la NOAA durante el período, realizando la revisión diaria.

- 7) Script y protocolo de los análisis estadísticos de los datos de las variables de altura de la ola, periodicidad de la ola, dirección y velocidad del viento tanto para los modelos como para la boya; el cual debe incluir las métricas dadas en diagramas de box-plot y los histogramas de frecuencias.
- 8) Manual técnico y de usuario de los aplicativos desarrollados, en particular el de la implementación de los datos del modelo de las 12Z y el aplicativo, para análisis estadístico y esquemas de verificación.

Para la finalización del contrato, en el presente informe se da a conocer la verificación entre los datos simulados por el modelo global NWW3 y los modelos regionales NAH y WNA en el punto de la grilla más cercano a la boya de referencia y los datos registrados por la misma, utilizando el lenguaje de programación Python.

Así mismo presente documento se muestran las pruebas realizadas del script implementado sobre la estadística descriptiva comparativa de las variables de altura de la ola, periodicidad de la ola, dirección y velocidad del viento entre los pronósticos del modelo para el punto de referencia y los datos de la boya.

Se muestra además la verificación de la habilidad de los modelos NWW3, NAH y WNA en pronosticar las variables registradas por la boya y se describen las ecuaciones utilizadas tanto para la estadística descriptiva como para los esquemas de verificación entre lo observado y lo modelado con los datos horarios y cada tres horas de las salidas diarias del 2015 para las 12Z y del 2014-2015 para las 00Z.

PARTE I: Ecuaciones de ajuste de los algoritmos tanto de la estadística descriptiva como de los esquemas de verificación entre lo observado y lo modelado para los datos recopilados en 2015 de la salida diaria de las 12Z y de los datos diarios 2014-2015 de las 00Z.

PARTE II: Pruebas realizadas de los códigos fuentes o scripts implementados acerca de la estadística descriptiva comparativa de los datos de las variables de altura de la ola, periodicidad de la ola, dirección y velocidad del viento entre los pronósticos del modelo para el punto de referencia y los datos de la boya.

PARTE III: Verificación sobre la habilidad de los modelos NWW3, ENP y NAH en resolver de forma pronosticada los datos registrados por la boya.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DATOS UTILIZADOS

El área de estudio es el punto de observación de oleajes que se realiza con sensores instalados en la boya marítima 42058 <http://www.ndbc.noaa.gov/data/5day2/42058> ubicada en el mar Caribe (Fig. 1) cerca al territorio Colombiano (14°55'23" N 74°55'4" W). La boya registra la información cada hora.

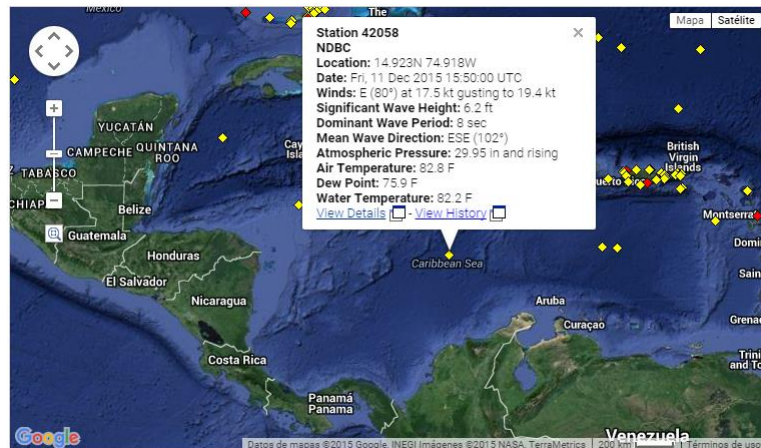


Figura 1. Ubicación de la boya 42058 (fuente: <http://www.ndbc.noaa.gov>)

Los datos utilizados en el presente trabajo son altura de la ola (m), periodicidad de la ola (s), dirección (grados) y velocidad (m/s) de la ola obtenido por medio de los modelos: global NOAA Wave Watch III (NWW3) con una periodicidad de cada 3 horas, regional Western North Atlantic (WNA) y regional North Atlantic Hurricane (NAH) con periodicidad horaria.

El periodo de los datos para los 12Z de los modelos NWW3 y WMA es desde el 2 de octubre del 2015 hasta el 9 de diciembre del 2015. Para los 00Z, del modelo NAH es desde el 14 de mayo del 2014 hasta el 14 de enero del 2015 y del modelo NWW3 es desde el 14 de mayo hasta el 10 de diciembre del 2015.

El modelo global NWW3 de carácter operativo, es utilizado para la simulación de oleajes, este modelo fue desarrollado por la National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Prediction (NOAA/NCEP) con base en el modelo oceánico global de predicción Wave prediction Model (WAM). El NWW3 surge de los modelos WAVEWATCH (desarrollado por la Universidad Tecnológica de Delft) y WAVEWATCH II (desarrollado por la NASA, Goddard Space Flight Center),

siendo mejor y diferente por las ecuaciones utilizadas, la estructura del modelo, los métodos numéricos y las parametrizaciones físicas (<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/>).

La ejecución del modelo global NWW3 es realizada cada cuatro veces al día: 00Z, 06Z, 12Z, 18Z, iniciando cada ejecución con rezago de 9, 6 y 3 horas, lo cual logra producir pronósticos cada 3 horas a partir de la predicción inicial hasta completar 180 horas. El modelo NWW3 consta de cinco modelos regionales de oleaje:

- Alaskan Waters (AKW), el cual cubre la región ubicada en las coordenadas 45°-75°N y 160°E-123°W con resolución de 0.5°x0.25°.
- Western North Atlantic (WNA), con cobertura de la región ubicada en las coordenadas 0°-50°N y 98°-30°W y resolución espacial de 0.25°.
- North Atlantic Hurricane (NAH), que cubre la región 0°-50°N y 98°-30°W con resolución especial de 0.25°.
- Eastern North Pacific (ENP), cubriendo el área 5°-60.25°N y 170°-77.5°W con resolución de 0.25°.
- North Pacific Hurricane (NPH), el cual cubre el área 5°-60.25°N y 170°-77.5°W con resolución de 0.25°.

Los modelos regionales obtienen los datos de frontera a partir del modelo global NWW3 en forma horaria, de tal manera que ellos se ejecutan a las horas 00Z, 06Z, 12Z y 18Z, con un rezago de 6 horas para asegurar la continuidad del oleaje, todos los modelos regionales proveen pronóstico hasta 126 horas a excepción del modelo NAH, el cual lo realiza hasta 72 horas (<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/>).

En lugar de los datos del modelo ENP fueron utilizados los datos del modelo WNA, debido a que para la realización del presente contrato solamente se contaba con una boya en el mar caribe.

Desde el año 2014 el IDEAM extrae diariamente los datos de las variables de oleajes: dirección y velocidad del viento, altura de la ola y periodo de la ola de los modelos mencionados por medio de un script para la corrida 00Z.

En el presente trabajo el script para los 00Z fue modificado y actualizado para obtener la información para los 12Z.

La información de los modelos se extrae en el formato grib2, y dentro de los scripts (para 00Z y 12Z) los datos son transformados al formato ascii. de la siguiente página web: <ftp://ftpprd.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/wave/prod/wave>.

Una vez extraídos los datos, éstos se almacenan diariamente en un nodo de cluster del IDEAM.

Para cada modelo fueron construidas cinco series los cuales corresponden a los primeros 5 días de pronóstico.

Los datos de las variables simulados por ambos modelos, se organizaron de la siguiente manera:

lag0: Datos del pronóstico para el día de análisis, generado el mismo día de análisis

lag1: Datos del pronóstico para el día de análisis, generado 24 horas antes

lag2: Datos del pronóstico para el día de análisis, generado 48 horas antes

lag3: Datos del pronóstico para el día de análisis, generado 72 horas antes

lag4: Datos del pronóstico para el día de análisis, generado 96 horas antes

2.2. MÉTODOS Y ECUACIONES UTILIZADAS.

El primer método utilizado con el fin de comparar los datos obtenidos de los modelos NWW3, NAH y WMA con los datos registrados por la boya 42058, fue el método visual mediante la elaboración gráficas de las series de tiempo (Fig. 2-7) y gráficas de dispersión (Fig. 8-20) mediante el script “stat.bash” escrito en el lenguaje Python del cual se entrega el “Manual técnico y de usuario del script *stat.bash* desarrollado para la implementación del análisis estadístico”.

Seguidamente se procedió a calcular valores estadísticos para la descripción de la información de los modelos y de la boya, con algoritmos que también se encuentren en el script *stat.bash*.

Los algoritmos permiten obtener el análisis estadístico descriptivo y comparativo de los datos de las variables de altura de la ola, periodicidad de la ola, dirección y velocidad del viento entre los pronósticos del modelo para el punto de referencia y los datos de la boya para cada serie. Entre los estadísticos se tienen a los valores mínimos, máximos, promedio, desviación estándar y terciles, utilizando las siguientes fórmulas:

El valor promedio

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

donde, n es la longitud de la serie, x_i es el valor de la serie analizada.

La desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

donde, \bar{x} es el valor promedio de la serie analizada.

Los valores obtenidos se representan mediante el script *stat.bash* en pantalla donde el usuario podrá apreciarlos como aparecen en la figuras 20-21.

Por último, para realizar la verificación sobre la habilidad de los modelos NWW3, NAH y WNA en resolver de forma pronosticada los datos registrados por la boya, se hicieron cálculos de precisión de los modelos utilizando el error medio cuadrático (RMSE por sus siglas en ingles), error absoluto medio (MAE por sus siglas en ingles), error absoluto medio normalizado (NMAE por sus siglas en ingles), sesgo (BIAS), eficiencia del modelo (EM), coeficiente de determinación del modelo (CD), coeficiente de error (C) y el índice de ajuste (IOA).

Los algoritmos para los cálculos de precisión de los modelos, desarrollados dentro del script stat.bash, se realizaron mediante las siguientes fórmulas:

Error medio cuadrático,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{obs} - x_{prog})^2} \quad (3)$$

donde, x_{obs} es la serie observada, x_{prog} es la serie pronosticada (Pielke, 1984).

Para el viento se utiliza una variación del RMSE teniendo en cuenta las dos componentes:

$$RMSVE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_{prog} - u_{obs})^2 + (v_{prog} - v_{obs})^2} \quad (4)$$

donde, u_{prog} es el valor pronosticado de la componente u del oleaje, u_{obs} es el valor observado de la componente u, v_{prog} es el valor pronosticado de la componente v, v_{obs} es el valor observado de la componente v.

Para la dirección de oleaje se utiliza al RMSE de otra forma, teniendo en cuenta la diferencia entre la dirección simulada y la dirección observada mínima, obteniendo así dos valores, uno positivo y otro negativo, los cuales permiten el cálculo de una desviación que no es la diferencia real de las dos series analizadas:

$$RMSE_{dir} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D^2} \quad (5)$$

donde, $D = \min(|d_{prog} - d_{obs}|, |d_{obs} - d_{prog}|)$, d_{prog} es la dirección de oleaje pronosticada, d_{obs} es la dirección de oleaje observada (Pielke, 1984).

Con el error absoluto medio se obtiene las diferencias en promedio entre los valores pronosticados y observados (Stauffer and Seaman, 1990):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_{prog} - x_{obs}| \quad (6)$$

donde, x_{prog} es el valor pronosticado y x_{obs} es el valor observado.

El error absoluto medio normalizado se utiliza para tener en cuenta el peso del error respecto al valor de la variable medida (Stauffer and Seaman, 1990):

$$NMAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_{prog} - x_{obs}|}{x_{obs}} \quad (7)$$

El sesgo proporciona la información sobre la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar una variable, cuantificando el error sistemático del modelo (Pielke,1984), de tal manera que un resultado positivo es muestra de una tendencia a sobreestimar los valores de la variables modelada, si es negativo la tendencia del modelo es la subestimación:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{prog} - x_{obs}) \quad (8)$$

El BIAS para la dirección de oleaje se calcula mediante

$$BIAS_{dir} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D \quad (9)$$

donde,

$$D = d_{prog} - d_{obs} \quad \text{si } (d_{prog} - d_{obs}) < (d_{obs} - d_{prog}), \text{ y}$$

$$D = d_{obs} - d_{prog} \quad \text{si } (d_{prog} - d_{obs}) > (d_{obs} - d_{prog})$$

donde, d_{prog} es la dirección de oleaje pronosticada, d_{obs} es la dirección de oleaje observada.

Mediante (9), un BIAS positivo muestra que la tendencia del modelo es simular vectores del oleaje a la izquierda de las observaciones, y viceversa cuando es negativo.

La eficiencia del modelo se obtiene con

$$EM = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_{obs} - x_{prog})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2} \quad (10)$$

donde, \bar{x}_{obs} es el promedio de la serie observada (Nash y Sutcliffe, 1970).

El coeficiente de determinación del modelo se calcula mediante

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{prog} - \bar{x}_{prog})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2} \quad (11)$$

donde \bar{x}_{obs} es el promedio de la serie observada, \bar{x}_{prog} es el promedio de la serie modelada (Loague & Green 1991 mencionado en Medina et al 2010).

El coeficiente de error (Klepper & Rouse 1991 mencionado en Medina et al 2010), se calcula así:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{obs} - x_{prog})}{n} \bigg/ \bar{x}_{obs} \quad (12)$$

El índice de ajuste (Wilmott 1981), se obtiene con:

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_{prog} - x_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n \left(\left| x_{prog} - x_{obs} \right| + \left| x_{obs} - x_{obs} \right| \right)^2} \quad (13)$$

3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Teniendo en cuenta que el presente trabajo se realizó con los datos obtenidos de los modelos NWW3, NAH, WNA comparando sus resultados con registros de la boya para salidas a las 00Z y 12Z en los lags 0, 1, 2, 3 y 4 (para los modelos NWW3 y NAH) y en los lags 0, 1 y 2 (para el modelo WNA), en el presente capítulo se muestran a manera de ejemplo solamente los resultados de la comparación visual de las series temporales del modelo NWW3 (Fig. 2 - 7); los análisis estadísticos comparativos, habilidad de pronóstico de los modelos NWW3 y WNA y tablas de contingencia resultantes de la información del período 2 de octubre del 2015 - 9 de diciembre del 2015; y los análisis estadísticos comparativos y habilidad de pronóstico de los modelos NWW3 y NAH obtenidos de la información del período 14 de mayo del 2014 - 14 de enero del 2015.

3.1. COMPARACIÓN DE LOS MODELOS NWW3 Y WNA PARA LOS 12Z

En las figuras 2 - 7 se presenta la comparación visual de la distribución temporal entre la boya y el modelo NWW3 lag 0 de las variables: altura de ola, periodo de ola, dirección y velocidad de ola, las componentes U y V de oleajes para el período desde el 2 de octubre del 2015 hasta el 9 de diciembre del 2015. En ellas, las curvas de color rojo representan a los datos de la boya, y la azul a los datos modelados.

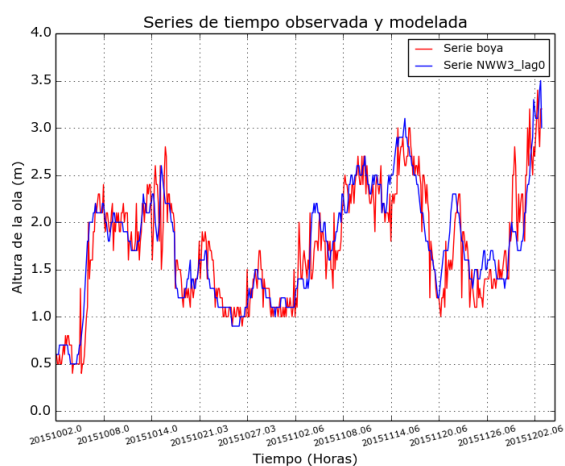


Figura 2. Altura de la ola observada (roja) y modelada NWW3 (azul), lag 0.

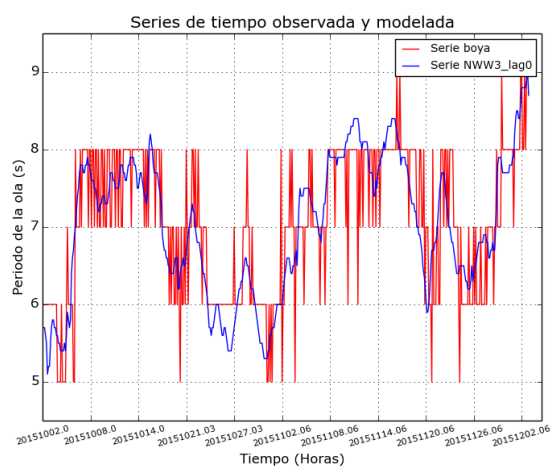


Figura 3. Periodo de la ola observada (roja) y modelada NWW3 (azul), lag 0.

Se observa desde el punto de vista visual, que el comportamiento temporal de la variable altura de la ola es muy similar entre la boya y el modelo (Fig. 2); lo mismo se puede decir de la variable velocidad de la ola (Fig. 4).

Con relación al periodo de la ola (Fig. 3), se aprecia que aunque las series modelada y observada conservan una tendencia general temporal similar, los datos modelados logran simular valores que oscilan hasta con decimas de segundos, mientras los valores obtenidos por la boya no cambian durante algunos días de registro (el periodo dominante es 8 segundos <http://www.ndbc.noaa.gov/rsa.shtml>) y oscilan mínimo en 1 s, esto está relacionado con el hecho de que el sensor de medición de periodo de la ola tiene un error de medición +/- 1 s.

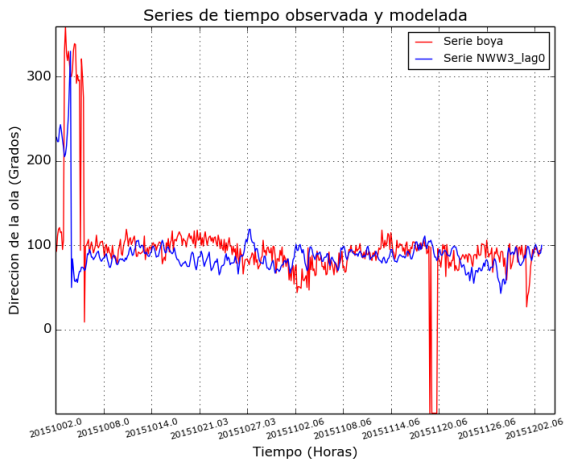


Figura 4. Dirección de la ola observada (roja) y modelada NWW3 (azul), lag 0.

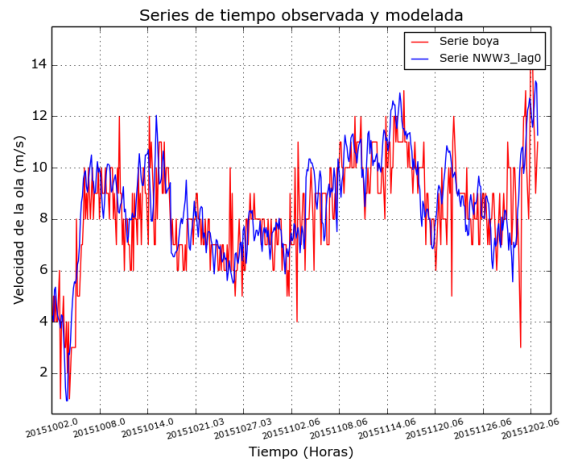


Figura 5. Velocidad de la ola observada (roja) y modelada NWW3 (azul), lag 0.

Con relación a la dirección de la ola (Fig. 4) cuando se registra ausencia de datos la boya arroja un valor igual a -99, lo cual explica lo encontrado entre el 18 de noviembre y el 20 de noviembre. En general se observa un desfase entre los registros de la boya y el modelo, al igual que lo que se aprecia en el componente V (Fig. 7).

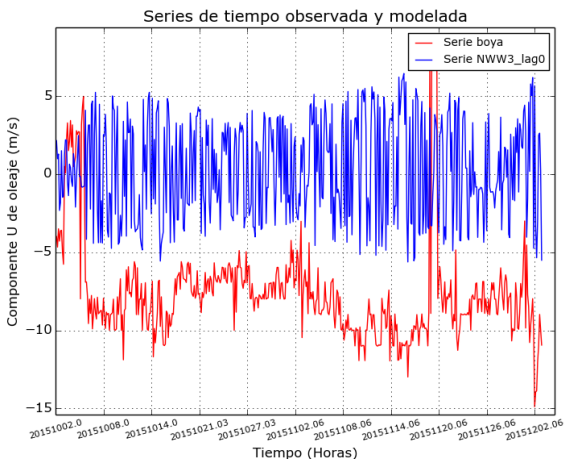


Figura 6. Componente U de la ola observada (roja) y modelada NWW3 (azul), lag 0.

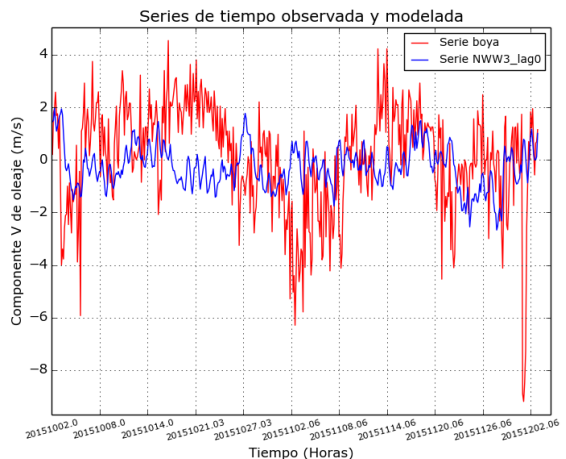


Figura 7. Componente V de la ola observada (roja) y modelada NWW3 (azul), lag 0.

Con respecto a la componente U los valores difieren casi en entre 5 a 10 m/s.

La misma forma de presentación gráfica de la distribución temporal ente las variables modeladas por NWW3 y WNA con sus respectivos lags vs los datos observados de la boya se pueden obtener del script *stat.bash*.

La dispersión de las series analizadas, se muestra en las figuras 8 – 19, donde se permite observar la calidad de correlación entre dos variables. La forma y la posición de los puntos en las diagramas de dispersión determinan diferentes variantes de correlación de los datos pares.

Como ejemplo se comparan los modelos NWW3 (gráfico izquierdo) y WNA (gráfico derecho) para el lag 0 con los respectivos registros de la boya.

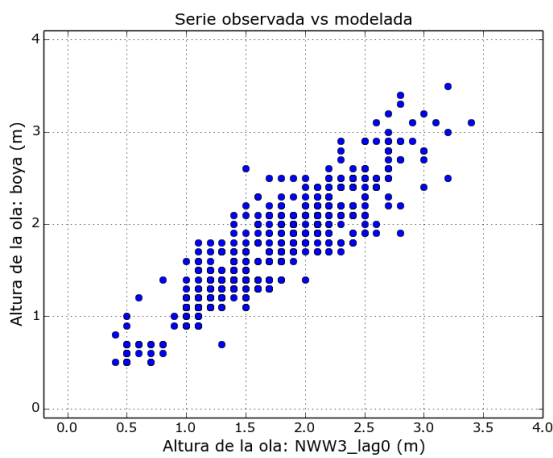


Figura 8. Altura de la ola observada vs. Altura de la ola modelada NWW3 lag 0.

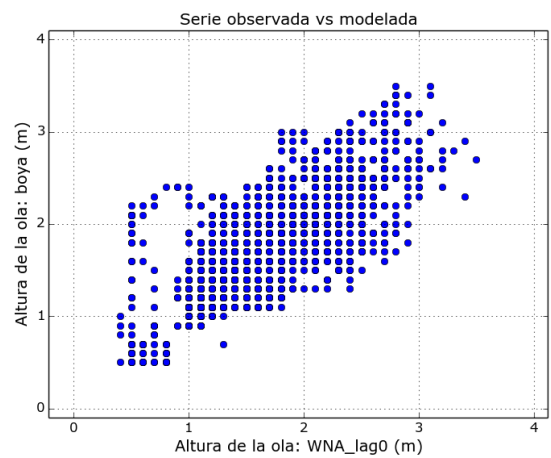


Figura 9. Altura de la ola observada vs. Altura de la ola modelada WNA lag 0.

Se encontró que la altura de la ola es la variable que mejor se correlaciona en comparación con las otras variables. La altura de la ola entre el modelo NWW3 lag 0 y la boya (Fig. 8) muestra una correlación (directa) positiva, en cambio entre el modelo WNA lag 0 y la boya (Fig. 9) aunque también se observa una correlación positiva, ésta es más débil lo cual se aprecia al observar una distribución más ancha de sus puntos.

El periodo de la ola entre el modelo NWW3 lag 0 y la boya (Fig. 10) muestra una correlación positiva débil, y lo mismo se observa entre el modelo WNA lag 0 y la boya (Fig. 11) con una correlación positiva más débil aun.

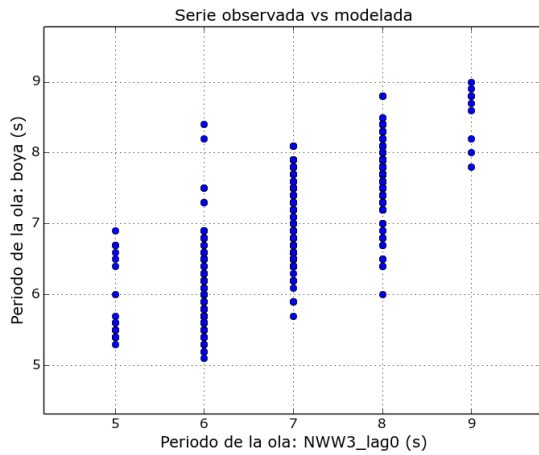


Figura 10. Periodo de la ola observada vs. Periodo de la ola modelada NWW3 lag 0.

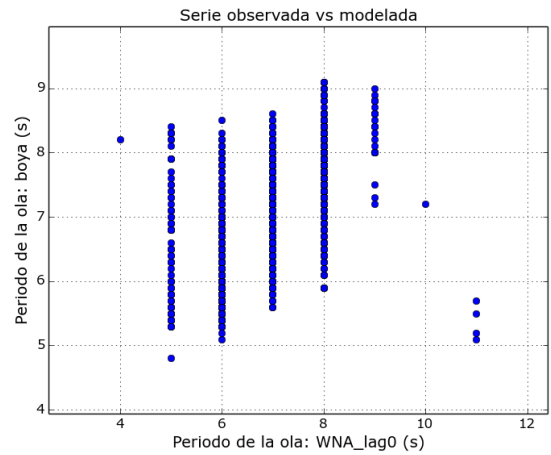


Figura 11. Periodo de la ola observada vs. Periodo de la ola modelada WNA lag 0.

En cuanto a la dirección de la ola, entre el modelo NWW3 lag 0 y la boya (Fig. 12) al igual que entre el modelo WNA lag 0 y la boya (Fig. 13) se aprecia ausencia de correlación.

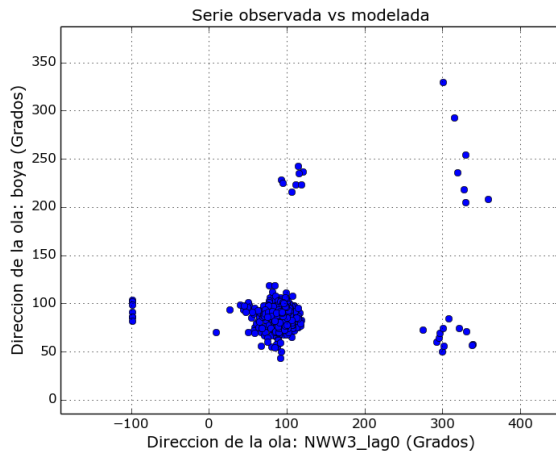


Figura 12. Dirección de la ola observada vs. Dirección de la ola modelada NWW3 lag 0.

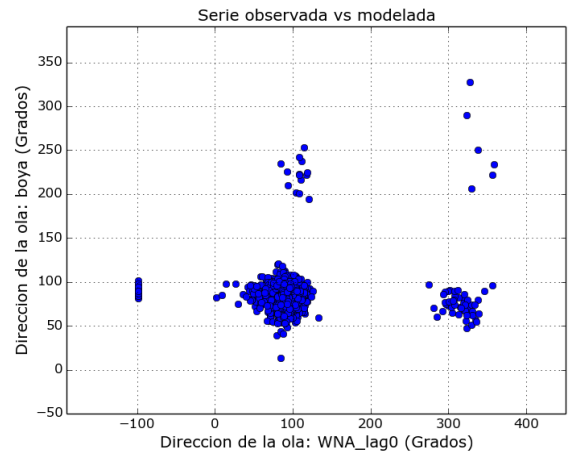


Figura 13. Dirección de la ola observada vs. Dirección de la ola modelada WNA lag 0.

Al igual que el período de la ola, la velocidad de la ola muestra una correlación positiva débil entre NWW3 lag 0 y la boya (Fig. 14), siendo también positiva entre el modelo WNA lag 0 y la boya (Fig. 15) pero más débil.

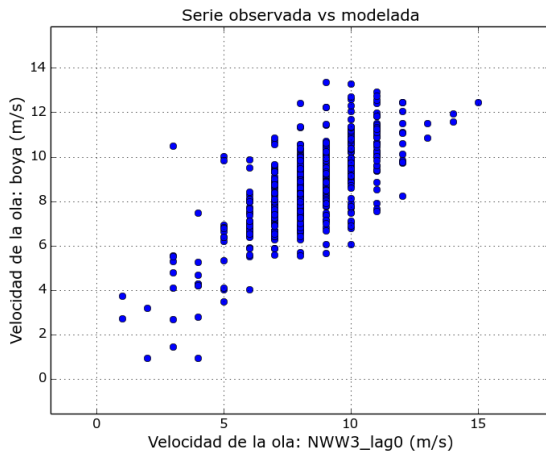


Figura 14. Velocidad de la ola observada vs. Velocidad de la ola modelada NWW3 lag 0.

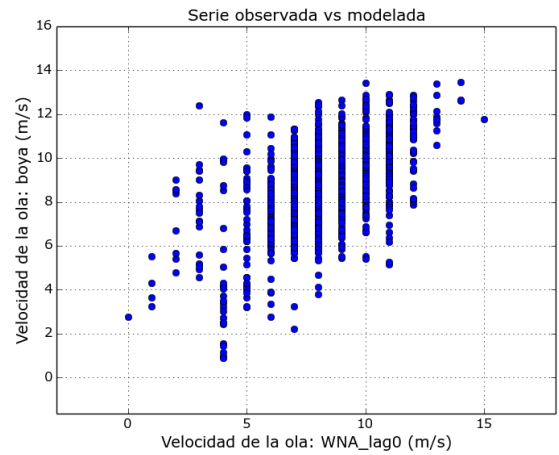


Figura 15. Velocidad de la ola observada vs. Velocidad de la ola modelada WNA lag 0.

La componente U para los dos casos muestra interposiciones de dos correlaciones, una correlación positiva se superpone con la correlación negativa entre NWW3 lag 0 y la boya (Fig. 16) y lo mismo se observa entre el modelo WNA lag 0 y la boya (Fig. 17) siendo esta correlación más débil.

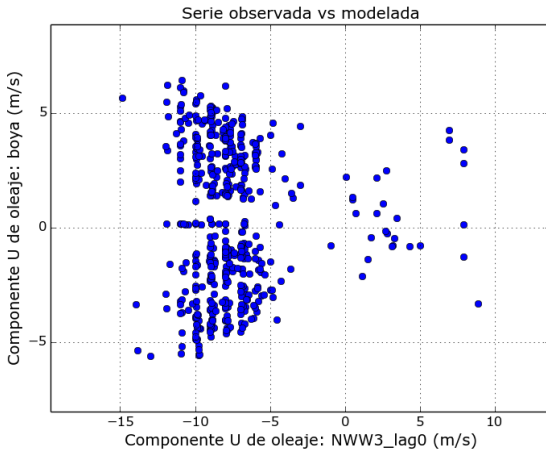


Figura 16. Componente U de la ola observada vs. Componente U de la ola modelada NWW3 lag 0.

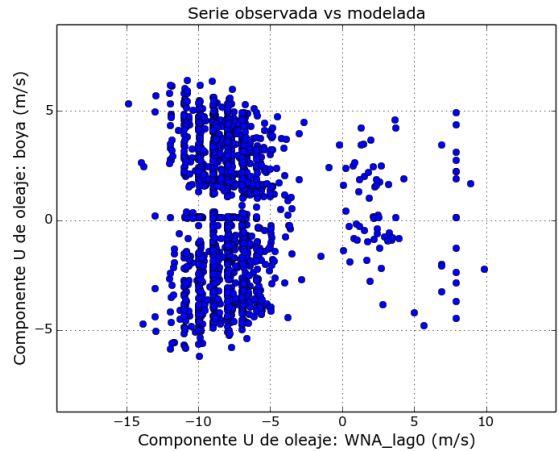


Figura 17. Componente U de la ola observada vs. Componente U de la ola modelada WNA lag 0.

La componente V para los dos casos muestra ausencia de correlación tanto entre el modelo NWW3 lag 0 y la boya (Fig. 18) como entre el modelo WNA lag 0 y la boya (Fig. 19).

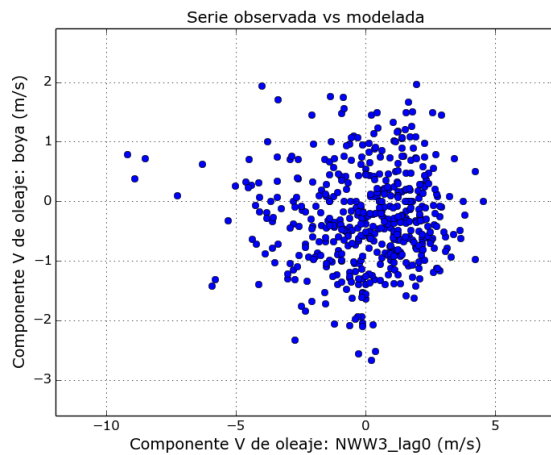


Figura 18. Componente V de la ola observada vs. Componente V de la ola modelada NWW3 lag 0.

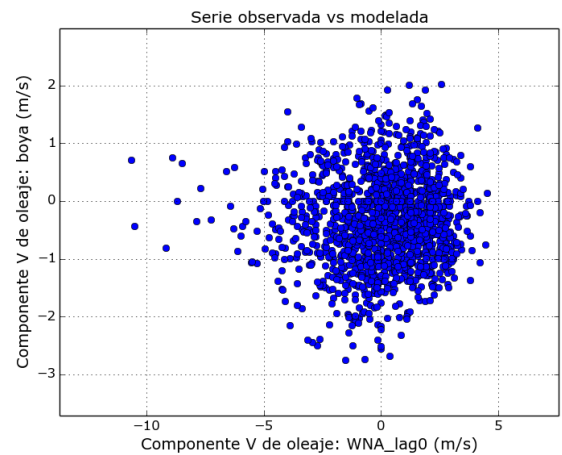


Figura 19. Componente V de la ola observada vs. Componente V de la ola modelada WNA lag 0.

En la figura 20 se puede observar cómo el script `stat.bash` entrega la estadística general de dos series (de la boya y del modelo).

Se va a dar como ejemplo solo un caso, el cual es el modelo NWW3 del lag 0 con la boya donde se muestra una similitud en los valores promedios (1.729 y 1.751 m), mínimos (0.4 y 0.5 m), máximos (3.4 y 3.5 m) y de desviación estándar (0.604 y 0.587 m) para la altura de la ola.

La medición de distribución simple de una serie estadística es la amplitud, la diferencia entre el mínimo y el máximo. La amplitud de oscilaciones da una presentación general sobre el cambio, entre los valores extremos, pero no muestra la desviación de algunos valores entre sí dentro de la serie.

Entre la altura de la ola del modelo NWW3 y de la boya (Fig. 20), los valores promedios son muy cercanos y también las amplitudes de sus oscilaciones son iguales con un valor de 3.0 m. La variación de las series con relación a sus promedios de acuerdo a la desviación estándar es pequeño, y son muy parecidas, la boya es igual a 0.604 m y NWW3 es igual a 0.587 m, lo que muestra que los datos están bien agrupados alrededor del promedio.

Los terciles son muy similares entre los valores modelados y observados por la boya, mostrando que los menores valores se encuentran por debajo de 1.4 m y los mayores por encima de 2 m.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.729	0.4	3.4	0.604
Modelo:	1.751	0.5	3.5	0.587
Terciles - Boya:	1.4	2.0	3.4	
Terciles - Modelo:	1.4	2.0	3.5	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.274		MAE: 0.206	
NMAE:	0.132		BIAS: 0.022	
r:	α : [8.95106705e-001 2.91231339e-172]			
Eficiencia del Modelo EM:	0.794			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	1.057			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	0.292			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.945			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 20. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 1 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.754	0.4	3.4	0.588
Modelo:	1.831	0.5	3.4	0.564
Terciles - Boya:	1.4	2.1	3.4	
Terciles - Modelo:	1.6	2.1	3.4	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.288		MAE: 0.221	
NMAE:	0.144		BIAS: 0.077	
r:	α : [8.85011122e-001 1.75404392e-160]			
Eficiencia del Modelo EM:	0.761			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	1.088			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	0.28			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.935			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 21. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 1, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Para la valoración del ajuste de los modelos y los datos observados por la boya, con el script *stat.bash* se calculan valores que permiten obtener una visión más detallada de las habilidades del pronóstico de los modelos.

El Error medio cuadrático (RMSE) muestra la precisión de lo modelado con relación a lo observado, el cual, para el ejemplo del modelo NWW3 y la boya para el lag 0 es igual a 0.274 m (Fig. 20), mostrando al ser un valor pequeño, que los valores de las dos series tienen bastante coincidencia entre sí.

Las diferencias entre los valores pronosticados y observados (error absoluto medio, MAE) también muestra un valor pequeño 0.206 m, alrededor de 7% con relación a la amplitud de las series. El peso del error con respecto al valor de la variable medida es igual a 0.132, lo que muestra que el valor absoluto medio normalizado es pequeño.

El BIAS es igual a 0.022 m, lo que muestra que el modelo tiene una pequeña tendencia a sobreestimar los datos de la boya. Como era de esperarse luego de estos valores obtenidos, el coeficiente de correlación muestra una buena relación entre las series investigadas (89.5%).

Otros indicadores importantes a la hora de valorar las habilidades de simulación de un modelo también se observan en la figura 20. En este mismo ejemplo, la eficiencia del modelo (EM) es igual a 0.794, lo que muestra que el modelo tiene buen ajuste a los datos observados. En este caso si el resultado es 1 el ajuste es perfecto, si es cero el error es del mismo orden de magnitud que la varianza de los datos observados por lo que la media de los datos observados tendrá una capacidad predictora similar al modelo. Los valores inferiores a cero implican que la media tiene una capacidad predictora más alta que el modelo, lo que significa que el modelo es muy malo.

El coeficiente de determinación del modelo (CD) resultó ser igual a 1.057. Un valor de CD cercano a uno indica buena predicción del modelo, su $CD > 1$ es un indicador de

baja predicción y si $CD < 1$ de sobrepredicción, debido al resultado obtenido se ve que el valor es un poco mayor que 1, lo cual significa que el modelo realiza una buena predicción.

El coeficiente de error (C) es igual a 0.292, lo que muestra que tiene un ajuste bueno, pero no perfecto. Un valor de C muy cercano a cero indica que el modelo cumple con su objetivo. Es una medida promedio relativa de las diferencias absolutas, la cual es expresada como una proporción de la media de los valores observados.

El índice de ajuste (IOA) es igual a 0.945, lo que significa que el modelo tiene una buena descripción de los datos observados.

De acuerdo a los resultados (Fig. 20 - 24) del modelo NWW3 de diferentes lags con relación a los datos de la boya, el mejor pronóstico se observa con el lag 0 y después con el aumento de los lags la precisión del modelo disminuye.

Series Boya vs NWW3 lag 2 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.775	0.4	3.4	0.574
Modelo:	1.837	0.5	3.4	0.512
Terciles - Boya:	1.5	2.1	3.4	
Terciles - Modelo:	1.6	2.002	3.4	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.313		MAE: 0.233	
NMAE:	0.151		BIAS: 0.061	
r:	α : [8.46483550e-001 1.77612904e-130]			
Eficiencia del Modelo EM:	0.703			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	1.259			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	0.269			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.913			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 22. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 2, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 3 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.784	0.4	3.4	0.559
Modelo:	1.799	0.9	3.1	0.482
Terciles - Boya:	1.5	2.1	3.4	
Terciles - Modelo:	1.6	2.0	3.1	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.36		MAE: 0.265	
NMAE:	0.17		BIAS: 0.015	
r:	α : [7.70780075e-01 1.11841240e-93]			
Eficiencia del Modelo EM:	0.585			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	1.344			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	0.263			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.872			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 23. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 3, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 4 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.806	0.9	3.4	0.545
Modelo:	1.762	0.9	3.0	0.469
Terciles - Boya:	1.5	2.1	3.4	
Terciles - Modelo:	1.6	2.0	3.0	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.419		MAE: 0.304	
NMAE:	0.171		BIAS: -0.044	
r:	α : [6.71556067e-01 5.76475917e-61]			
Eficiencia del Modelo EM:	0.409			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	1.35			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	0.256			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.816			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 24. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 4, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Series Boya vs WNA lag 0 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.726	0.4	3.5	0.6
Modelo:	1.822	0.5	3.5	0.572
Terciles - Boya:	1.4	2.0	3.5	
Terciles - Modelo:	1.5	2.1	3.5	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.441		MAE: 0.329	
NMAE:	0.239		BIAS: 0.096	
r:	α : [7.31356276e-001 2.77756692e-245]			
Eficiencia del Modelo EM:	0.46			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	1.1			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	0.29			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.847			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 25. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. WNA. Lag 0, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Al comparar los datos del modelo NWW3 con el modelo WNA (Fig. 20 - 27), se ve que el modelo global NWW3 provee pronósticos mejores que el modelo regional WNA, para todas las variables. Los resultados del pronóstico del modelo WNA para el lag 0 son casi similares a los del modelo NWW3 para el lag 3.

Series Boya vs WNA lag 1 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.751	0.4	3.5	0.585
Modelo:	1.801	0.8	3.1	0.492
Terciles - Boya:	1.4	2.1	3.5	
Terciles - Modelo:	1.6	2.0	3.1	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.533		MAE: 0.409	
NMAE:	0.312		BIAS: 0.05	
r:	α : [5.26216408e-001 2.30705143e-103]			
Eficiencia del Modelo EM: 0.171				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 1.415				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.279				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.714				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 26. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. WNA. Lag 1, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Series Boya vs WNA lag 2 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.759	0.4	3.5	0.574
Modelo:	1.667	0.6	3.2	0.517
Terciles - Boya:	1.408	2.015	3.5	
Terciles - Modelo:	1.4	1.9	3.2	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.592		MAE: 0.459	
NMAE:	0.333		BIAS: -0.092	
r:	α : [4.29380995e-01 6.88020278e-36]			
Eficiencia del Modelo EM: -0.063				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 1.234				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.27				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.656				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 27. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. WNA. Lag 2, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Las otras variables del modelo NWW3 para el lag 0, tales como periodo de la ola, presentan un ajuste un poco menor que el presentado en la altura de la ola, aunque relativamente bueno. Después le sigue la velocidad de la ola, con la cual su ajuste disminuye un poco en comparación con el ajuste del periodo de la ola. El que le sigue en ajuste del resultado del modelo con lo observado, es la variable componente U, con un ajuste malo, y los peores pronósticos pertenecen a las variables de la dirección de la ola y a la componente V, lo cual se observa en las figuras 28 - 32.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - periodo de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	7.066	5.0	9.0	0.935
Modelo:	7.018	5.1	9.0	0.889
Terciles - Boya:	7.0	8.0	9.0	
Terciles - Modelo:	6.584	7.6	9.0	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.581		MAE: 0.457	
NMAE:	0.067		BIAS: -0.048	
r:	α : [7.99368435e-001 2.25964713e-109]			
Eficiencia del Modelo EM: 0.614				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 1.107				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.11				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.891				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 28. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Periodo de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - velocidad de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	8.304	1.0	15.0	1.988
Modelo:	8.554	0.926	13.374	1.954
Terciles - Boya:	8.0	9.0	15.0	
Terciles - Modelo:	7.665	9.465	13.374	
Modelo vs Boya				
RMSE:	1.482		MAE: 1.134	
NMAE:	0.161		BIAS: 0.25	
r:	α : [7.25575078e-01 9.36561097e-81]			
Eficiencia del Modelo EM: 0.444				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 1.035				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.185				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.847				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 29. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Velocidad de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - componente U de oleaje

	Prom	min	max	σ
Boya:	-7.614	-14.888	8.889	3.28
Modelo:	0.358	-5.621	6.44	3.153
Terciles - Boya:	-8.951	-7.041	8.889	
Terciles - Modelo:	-1.522	2.556	6.44	
Modelo vs Boya				
RMSE:	9.441	MAE:	8.332	
NMAE:	-0.872	BIAS:	7.972	
r:	α : [7.42087980e-04 9.86967636e-01]			
Eficiencia del Modelo EM:	-6.832			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	1.082			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	-0.267			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.28			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 30. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Componente U de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - direccion de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	96.918	-99.0	359.0	51.547
Modelo:	89.782	43.0	330.0	29.167
Terciles - Boya:	88.0	99.0	359.0	
Terciles - Modelo:	82.0	90.0	330.0	
Modelo vs Boya				
RMSE:	51.824	MAE:	25.727	
NMAE:	0.19	BIAS:	-25.727	
r:	α : [2.90331146e-01 6.49838028e-11]			
Eficiencia del Modelo EM:	-0.011			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	3.123			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	0.228			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.488			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 31. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Dirección de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - componente V de oleaje

	Prom	min	max	σ
Boya:	0.061	-9.193	4.54	2.042
Modelo:	-0.269	-2.671	1.974	0.8
Terciles - Boya:	-0.523	1.216	4.54	
Terciles - Modelo:	-0.613	-0.0	1.974	
Modelo vs Boya				
RMSE:	9.441	MAE:	1.722	
NMAE:	-3.38579081495e+13	BIAS:	-0.33	
r:	α : [0.0171283 0.70614018]			
Eficiencia del Modelo EM:	-0.166			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	6.524			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	25.743			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.303			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 32. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Componente V de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Tabla de contingencia - Boya vs NWW3 lag 0

	Numero de casos.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	139	38	1	178
Tercil2_obs	36	79	124	147
Tercil3_obs	0	38	124	162
Total	175	155	157	487

	Porcentajes.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	28.54	7.8	0.21	36.55
Tercil2_obs	7.39	16.22	6.57	30.18
Tercil3_obs	0.0	7.8	25.46	33.26
Total	35.93	31.82	32.24	100.0

Figura 33. Tabla de contingencia de la serie Altura de la ola: Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

También se presenta la tabla de contingencia (Fig. 33) para el caso de las series modelada y registrada de la altura de la ola. El primer tercil del modelo NWW3 para el lag 0 coincide con el primer tercil de la boya en 28.5%, el primer tercil del modelo coincide con el segundo tercil de los datos observados en 7.4%. El segundo tercil de los datos modelados coincide con el segundo tercil de los datos observados en 16.2% y con 7.8% se reparte para el primer tercil y para el tercer tercil de los datos observados. El tercer tercil del modelo con su valor máximo 25.5% corresponde al tercer tercil de la boya, con 6.6% al segundo y con 0.2% al primer tercil. En general el primer tercil del modelo describe a los datos observados aproximadamente con 36%, el segundo tercil con 32% y el tercer tercil con 32%.

La distribución de los porcentajes entre los terciles de los datos modelados y observados es muy parecido para el resto de los lags del modelo NWW3 (Fig. 34-37).

Tabla de contingencia - Boya vs NWW3 lag 1

	Numero de casos.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	137	30	0	167
Tercil2_obs	44	100	102	181
Tercil3_obs	0	29	102	131
Total	181	159	139	479

	Altura de la ola.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	28.6	6.26	0.0	34.86
Tercil2_obs	9.19	20.88	7.72	37.79
Tercil3_obs	0.0	6.05	21.29	27.34
Total	37.79	33.19	29.01	100.0

Figura 34. Tabla de contingencia de la serie Altura de la ola: Boya vs. NWW3. Lag 1, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Tabla de contingencia - Boya vs NWW3 lag 2

	Numero de casos.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	141	41	3	185
Tercil2_obs	24	79	102	155
Tercil3_obs	8	21	102	131
Total	173	141	157	471

	Altura de la ola.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	29.94	8.7	0.64	39.28
Tercil2_obs	5.1	16.77	11.04	32.91
Tercil3_obs	1.7	4.46	21.66	27.82
Total	36.74	29.93	33.34	100.0

Figura 35. Tabla de contingencia de la serie Altura de la ola: Boya vs. NWW3. Lag 2, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Tabla de contingencia - Boya vs NWW3 lag 3

	Numero de casos.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	136	46	2	184
Tercil2_obs	34	79	101	155
Tercil3_obs	11	19	101	131
Total	181	144	145	470

	Altura de la ola.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	28.94	9.79	0.43	39.16
Tercil2_obs	7.23	16.81	8.94	32.98
Tercil3_obs	2.34	4.04	21.49	27.87
Total	38.51	30.64	30.86	100.0

Figura 36. Tabla de contingencia de la serie Altura de la ola: Boya vs. NWW3. Lag 3, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Tabla de contingencia - Boya vs NWW3 lag 4

	Numero de casos.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	128	43	5	176
Tercil2_obs	38	64	81	148
Tercil3_obs	22	28	81	131
Total	188	135	132	455

	Altura de la ola.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	28.13	9.45	1.1	38.68
Tercil2_obs	8.35	14.07	10.11	32.53
Tercil3_obs	4.84	6.15	17.8	28.79
Total	41.32	29.67	29.01	100.0

Figura 37. Tabla de contingencia de la serie Altura de la ola: Boya vs. NWW3. Lag 4, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Con respecto al modelo WNA el primer tercil para el lag 0 (Fig. 38) coincide con el primer tercil de la boya en 24.2%, en 8.1% para el segundo tercil y en 1.1% para el tercer tercil de los datos observados. El segundo tercil de los datos modelados coincide con el segundo tercil de los datos observados en 15.8%, en 11% con el primer tercil y en 11.6% con el tercer tercil de los datos observados. El tercer tercil del modelo con su valor 20.2% corresponde al tercer tercil de la boya, con 6.3% al segundo y con 1.7% al primer tercil. En general el primer tercil del modelo describe a los datos observados aproximadamente con 33%, el segundo tercil con 38% y el tercer tercil con 28%.

El mismo comportamiento se observa para los lags 1 y 2 del modelo WNA (Fig. 39-40).

Tabla de contingencia - Boya vs WNA lag 0

	Numero de casos.			Altura de la ola.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	354	161	25	540			
Tercil2_obs	119	231	296	442			
Tercil3_obs	16	170	296	482			
Total	489	562	413	1464			
	Porcentajes.			Altura de la ola.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	24.18	11.0	1.71	36.89			
Tercil2_obs	8.13	15.78	6.28	30.19			
Tercil3_obs	1.09	11.61	20.22	32.92			
Total	33.4	38.39	28.21	100.0			

Figura 38. Tabla de contingencia de la serie Altura de la ola: Boya vs. WNA. Lag 0, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Tabla de contingencia - Boya vs WNA lag 1

	Numero de casos.			Altura de la ola.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	344	113	49	506			
Tercil2_obs	167	214	253	542			
Tercil3_obs	38	101	253	392			
Total	549	428	463	1440			
	Porcentajes.			Altura de la ola.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	23.89	7.85	3.4	35.14			
Tercil2_obs	11.6	14.86	11.18	37.64			
Tercil3_obs	2.64	7.01	17.57	27.22			
Total	38.13	29.72	32.15	100.0			

Figura 39. Tabla de contingencia de la serie Alura de la ola: Boya vs. WNA. Lag 1, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

Tabla de contingencia - Boya vs WNA lag 2

	Numero de casos.			Altura de la ola.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	161	61	35	257			
Tercil2_obs	103	101	145	256			
Tercil3_obs	30	82	145	257			
Total	294	244	232	770			
	Porcentajes.			Altura de la ola.			Total
	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	Tercil1_Mod	Tercil2_Mod	Tercil3_Mod	
Tercil1_obs	20.91	7.92	4.55	33.38			
Tercil2_obs	13.38	13.12	6.75	33.25			
Tercil3_obs	3.9	10.65	18.83	33.38			
Total	38.19	31.69	30.13	100.0			

Figura 40. Tabla de contingencia de la serie Altura de la ola: Boya vs. WNA. Lag 2, periodo 2/10/2015 – 9/12/2015, 12Z.

3.2. COMPARACIÓN DE LOS MODELOS NWW3 Y NAH PARA LOS 00Z

Para los 00Z, los valores estadísticos comparativos y los indicadores de la habilidad de pronóstico de los modelos NWW3 y NAH según la información obtenida durante el periodo 14 de mayo del 2014 al 14 de enero del 2015, se muestra en las figuras 41 – 50.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	2.002	0.4	4.6	0.716
Modelo:	2.117	0.5	4.5	0.719
Terciles - Boya: 1.7 2.3 4.6				
Terciles - Modelo: 1.8 2.5 4.5				
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.279	MAE:	0.211	
NMAE:	0.116	BIAS:	0.114	
r:	α : [0.93688102 0.]			
Eficiencia del Modelo EM: 0.848				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 0.992				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.293				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.961				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 41. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 1 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.999	0.4	4.6	0.717
Modelo:	2.18	0.5	4.4	0.723
Terciles - Boya: 1.6 2.3 4.6				
Terciles - Modelo: 1.9 2.5 4.4				
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.322	MAE:	0.254	
NMAE:	0.144	BIAS:	0.181	
r:	α : [0.93197357 0.]			
Eficiencia del Modelo EM: 0.799				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 0.983				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.293				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.95				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 42. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 1, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

De acuerdo con la figura 41, entre la altura de la ola del modelo NWW3 y de la boya, los valores promedios son cercanos, así mismo las amplitudes de sus oscilaciones, las cuales tienen valores de 4.2 y 4.0 m. La desviación estándar de la boya es igual a 0.716 m y de NWW3 es igual a 0.719 m, con lo que se puede decir que los datos se encuentran agrupados alrededor del promedio.

Con relación a los terciles, se aprecia que los valores modelados y observados por la boya son similares teniendo que los menores valores se encuentran por debajo de 1.7 y 1.8 m y los mayores por encima de 2.3 y 2.5 m.

El ajuste de los modelos se observa con el valor del RMSE, el cual es igual a 0.279 m (Fig. 41), mostrando que los datos de las dos series son de una buena coincidencia.

El MAE muestra un valor bastante pequeño 0.211 m; el peso del error con relación al valor de la variable medida (NMAE) es igual a 0.116, corroborando que el error entre las series es pequeño.

La tendencia a sobreestimar los datos de la boya se presentan con un BIAS de 0.114 m. El coeficiente de correlación muestra una muy buena relación entre las series modelada y de la boya con (93.6%).

Así mismo los indicadores de la valoración de las habilidades de simulación del modelo NWW3 como por ejemplo, el EM presenta un valor de 0.848, mostrando que existe un buen ajuste del modelo con los datos observados. El CD es igual a 0.992 indicando que hay una muy buena predicción del modelo. El coeficiente de error (C) tiene un valor de 0.293, mostrando que aunque el ajuste es bueno, no predice en forma exacta. El indicador de que el modelo tiene una buena descripción de los datos observados se presenta con el índice de ajuste (IOA), el cual es igual a 0.961.

Series Boya vs NWW3 lag 2 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.995	0.4	4.6	0.719
Modelo:	2.191	0.5	4.5	0.72
Terciles - Boya: 1.6 2.3 4.6				
Terciles - Modelo: 1.9 2.5 4.5				
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.352	MAE:	0.28	
NMAE:	0.16	BIAS:	0.195	
r: α : [0.91746045 0.]				
Eficiencia del Modelo EM: 0.761				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 0.996				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.295				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.94				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 43. Estadística comparativa e indicadores de ajuste:
Altura de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 2, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 3 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.992	0.4	4.6	0.717
Modelo:	2.19	0.5	4.5	0.715
Terciles - Boya: 1.6 2.3 4.6				
Terciles - Modelo: 1.9 2.5 4.5				
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.379	MAE:	0.3	
NMAE:	0.175	BIAS:	0.199	
r: α : [0.89861592 0.]				
Eficiencia del Modelo EM: 0.721				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 1.005				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.295				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.929				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 44. Estadística comparativa e indicadores de ajuste:
Altura de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 3, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Teniendo en cuenta los resultados del modelo NWW3 para diferentes lags (Fig. 41 - 45) de las 12Z, al igual que con los de las 00Z (Fig. 20 - 24) se aprecia que los resultados del modelo NWW3 en el lag 0 son similares entre sí y a medida de que el lag aumenta los resultados presentan una disminución en la precisión de las simulaciones. Comparando las salidas de 12Z (periodo de análisis 2 de octubre del 2015 - 9 de diciembre del 2015) con respecto a las de 00Z (periodo de análisis 14 de mayo del 2014 - 14 de enero del 2015), se observa que aunque el periodo es diferente, el mejor ajuste se da entre los resultados de las 00Z.

Al hacer la comparación entre los resultados del modelo global NWW3 y del modelo regional NAH (Fig. 41 - 49), aunque se aprecia que el modelo NAH tiene un coeficiente de correlación mayor (95%) que el NWW3 (93%), los indicadores de ajuste de la variable que mejor ha sido pronosticada con los dos modelos (altura de la ola para el lag 0) muestran que el modelo global NWW3 pronostica mejor que el modelo regional NAH. Al comparar los dos modelos con diferentes lag se observa que definitivamente el NWW3 modela mejor los datos de la altura de la ola que el modelo NAH.

Series Boya vs NWW3 lag 4 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.99	0.4	4.6	0.713
Modelo:	2.182	0.4	4.3	0.711
Terciles - Boya: 1.6 2.3 4.6				
Terciles - Modelo: 1.9 2.5 4.3				
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.41	MAE:	0.324	
NMAE:	0.191	BIAS:	0.192	
r: α : [0.87090176 0.]				
Eficiencia del Modelo EM: 0.67				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 1.006				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.293				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.915				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 45. Estadística comparativa e indicadores de ajuste:
Altura de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 4, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NAH lag 0 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.959	0.4	5.0	0.714
Modelo:	2.346	0.6	5.0	0.909
Terciles - Boya: 1.6 2.4 5.0				
Terciles - Modelo: 2.0 2.8 5.0				
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.498	MAE:	0.41	
NMAE:	0.21	BIAS:	0.387	
r: α : [0.95399069 0.]				
Eficiencia del Modelo EM: 0.513				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 0.616				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.308				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.91				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 45. Estadística comparativa e indicadores de ajuste:
Altura de la ola, Boya vs. NAH. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Con relación a las otras variables simuladas por el modelo NWW3 para el lag 0, luego de la altura de la ola, la velocidad de la ola es la que presenta mejor ajuste, después le sigue el periodo de la ola, siendo que los que menor ajuste presentan son las componentes U y V (Fig. 50 - 54).

Series Boya vs NAH lag 1 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.964	0.4	5.0	0.717
Modelo:	2.409	0.6	5.0	0.882
Terciles - Boya:	1.6	2.4	5.0	
Terciles - Modelo:	2.0	2.9	5.0	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.542		MAE:	0.463
NMAE:	0.248		BIAS:	0.445
r: α : [0.94602941 0.]				
Eficiencia del Modelo EM: 0.428				
<small>si EM=1, ajuste perfecto.</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 0.66				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.308				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.892				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto.</small>				

Figura 46. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NAH. Lag 1, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NAH lag 2 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.964	0.4	5.0	0.716
Modelo:	2.432	0.6	5.0	0.879
Terciles - Boya:	1.6	2.4	5.0	
Terciles - Modelo:	2.1	2.9	5.0	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.576		MAE:	0.488
NMAE:	0.266		BIAS:	0.468
r: α : [0.93193092 0.]				
Eficiencia del Modelo EM: 0.353				
<small>si EM=1, ajuste perfecto.</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 0.664				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.308				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.878				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto.</small>				

Figura 47. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NAH. Lag 2, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NAH lag 3 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.966	0.4	5.0	0.72
Modelo:	2.449	0.7	5.1	0.882
Terciles - Boya:	1.6	2.4	5.0	
Terciles - Modelo:	2.0	2.9	5.1	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.603		MAE:	0.507
NMAE:	0.282		BIAS:	0.483
r: α : [0.91801576 0.]				
Eficiencia del Modelo EM: 0.298				
<small>si EM=1, ajuste perfecto.</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 0.666				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.31				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.868				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto.</small>				

Figura 48. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NAH. Lag 3, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NAH lag 4 - altura de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	1.971	0.4	5.0	0.724
Modelo:	2.458	0.7	5.0	0.874
Terciles - Boya:	1.6	2.4	5.0	
Terciles - Modelo:	2.0	3.0	5.0	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.627		MAE:	0.525
NMAE:	0.301		BIAS:	0.487
r: α : [0.89519984 0.]				
Eficiencia del Modelo EM: 0.251				
<small>si EM=1, ajuste perfecto.</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 0.686				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.311				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.855				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto.</small>				

Figura 49. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Altura de la ola, Boya vs. NAH. Lag 4, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - periodo de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	7.43	3.0	11.0	1.023
Modelo:	7.622	3.9	10.8	0.976
Terciles - Boya:	7.0	8.0	11.0	
Terciles - Modelo:	7.3	8.2	10.8	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.749		MAE:	0.537
NMAE:	0.076		BIAS:	0.191
r: α : [0.73868015 0.]				
Eficiencia del Modelo EM: 0.465				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 1.1				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.113				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.851				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 50. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Periodo de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - velocidad de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	9.216	0.0	15.0	2.269
Modelo:	9.516	0.412	15.741	2.307
Terciles - Boya:	9.0	10.0	15.0	
Terciles - Modelo:	8.778	10.751	15.741	
Modelo vs Boya				
RMSE:	1.175		MAE:	0.857
NMAE:	0.295		BIAS:	0.3
r: α : [0.87654586 0.]				
Eficiencia del Modelo EM: 0.732				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 0.967				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 0.192				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.931				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 51. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Velocidad de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - componente U de oleaje

	Prom	min	max	σ
Boya:	-3.766	-14.888	13.828	8.457
Modelo:	0.623	-6.607	7.851	3.381
Terciles - Boya:	-9.336	-5.523	13.828	
Terciles - Modelo:	-1.332	2.682	7.851	
Modelo vs Boya				
RMSE:	10.484		MAE:	9.286
NMAE:	-0.54		BIAS:	4.389
r: α : [0.03008019 0.01937754]				
Eficiencia del Modelo EM: -0.453				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 6.257				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: -1.978				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.401				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 52. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Componente U de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - direccion de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	38.846	-99.0	359.0	89.324
Modelo:	83.762	3.0	351.0	18.113
Terciles - Boya:	71.0	95.0	359.0	
Terciles - Modelo:	80.0	87.0	351.0	
Modelo vs Boya				
RMSE:	100.736		MAE:	64.792
NMAE:	-0.371		BIAS:	-64.792
r: α : [5.45102396e-02 2.24145234e-05]				
Eficiencia del Modelo EM: -0.272				
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coeficiente de Determinacion del Modelo CD: 24.321				
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coeficiente del Error C: 2.033				
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coeficiente de ajuste IOA: 0.419				
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 53. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Dirección de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NWW3 lag 0 - componente V de oleaje

	Prom	min	max	σ
Boya:	0.801	-9.193	7.913	1.933
Modelo:	-0.571	-3.78	2.76	0.747
Terciles - Boya:	0.366	1.564	7.913	
Terciles - Modelo:	-0.89	-0.258	2.76	
Modelo vs Boya				
RMSE:	10.484		MAE: 2.023	
NMAE:	-2.38976042477e+3		BIAS: -1.372	
r:	α : [7.36691335e-02 9.87103384e-09]			
Eficiencia del Modelo EM:	-0.596			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	6.689			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	1.798			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.419			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 54. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Componente V de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NAH lag 0 - periodo de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	7.358	3.0	12.0	1.034
Modelo:	7.216	3.5	9.7	1.089
Terciles - Boya:	7.0	8.0	12.0	
Terciles - Modelo:	6.9	7.9	9.7	
Modelo vs Boya				
RMSE:	0.733		MAE: 0.512	
NMAE:	0.072		BIAS: -0.142	
r:	α : [0.77157073 0.]			
Eficiencia del Modelo EM:	0.497			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	0.903			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	0.115			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.874			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 55. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Periodo de la ola, Boya vs. NWW3. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Las variables periodo de la ola y velocidad de la ola son un poco mejor simuladas con el modelo regional NAH que con el NWW3, en cambio las variables dirección de la ola y las componentes U y V aunque son simuladas con poca precisión por los dos modelos, los resultados son mejores con el modelo NWW3.

Series Boya vs NAH lag 0 - velocidad de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	9.046	0.0	14.0	2.413
Modelo:	9.491	0.463	15.586	2.526
Terciles - Boya:	8.0	10.0	14.0	
Terciles - Modelo:	8.796	10.905	15.586	
Modelo vs Boya				
RMSE:	1.139		MAE: 0.892	
NMAE:	0.14		BIAS: 0.445	
r:	α : [0.91076185 0.]			
Eficiencia del Modelo EM:	0.777			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	0.912			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	0.212			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.945			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 56. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Velocidad de la ola, Boya vs. NAH. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NAH lag 0 - componente U de oleaje

	Prom	min	max	σ
Boya:	-2.841	-13.998	13.828	8.637
Modelo:	6.607	-6.783	7.672	3.413
Terciles - Boya:	-8.995	0.135	13.828	
Terciles - Modelo:	-1.353	2.693	7.672	
Modelo vs Boya				
RMSE:	10.27		MAE: 8.98	
NMAE:	-0.395		BIAS: 3.448	
r:	α : [0.01480265 0.17541036]			
Eficiencia del Modelo EM:	-0.327			
<small>si EM=1, ajuste perfecto:</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	6.403			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	-2.765			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.399			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto:</small>				

Figura 57. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Componente U de la ola, Boya vs. NAH. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NAH lag 0 - direccion de la ola

	Prom	min	max	σ
Boya:	29.093	-99.0	359.0	92.085
Modelo:	84.815	13.0	357.0	16.174
Terciles - Boya:	4.0	94.0	359.0	
Terciles - Modelo:	81.0	88.0	357.0	
Modelo vs Boya				
RMSE:	108.999	MAE:	73.347	
NMAE:	-0.435	BIAS:	-73.347	
r:	α : [0.01159289 0.28860752]			
Eficiencia del Modelo EM:	-0.401			
<small>si EM=1, ajuste perfecto.</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	32.415			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	2.933			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.444			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto.</small>				

Figura 58. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Dirección de la ola, Boya vs. NAH. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

Series Boya vs NAH lag 0 - componente V de oleaje

	Prom	min	max	σ
Boya:	0.87	-8.899	7.913	2.055
Modelo:	-0.483	-3.863	2.737	0.771
Terciles - Boya:	0.471	1.564	7.913	
Terciles - Modelo:	-0.813	-0.172	2.737	
Modelo vs Boya				
RMSE:	10.27	MAE:	2.08	
NMAE:	-1.77751210991e+1	BIAS:	-1.354	
r:	α : [6.00834739e-02 3.69875536e-08]			
Eficiencia del Modelo EM:	-0.53			
<small>si EM=1, ajuste perfecto.</small>				
Coefficiente de Determinacion del Modelo CD:	7.109			
<small>CD=1, ajuste perfecto; CD>1, Baja prediccion; CD<1, Sobreprediccion</small>				
Coefficiente del Error C:	1.75			
<small>C muy cerca a 0, indica que el modelo se ajusta a los observados</small>				
Coefficiente de ajuste IOA:	0.414			
<small>si IOA=1, ajuste perfecto.</small>				

Figura 59. Estadística comparativa e indicadores de ajuste: Componente V de la ola, Boya vs. NAH. Lag 0, periodo 14/05/2014 – 14/01/2015, 12Z.

CONCLUSIONES

Se logró elaborar el script *stat.bash*, donde se ejecuta el arreglo de los datos descargados de los modelos NWW3, NAH y WNA y de la boya 42058; su visualización en gráficas de series de tiempo y de dispersión; el cálculo de la estadística descriptiva comparativa y de la valoración de la habilidad de pronóstico de los modelos.

Se presentaron las ecuaciones utilizadas para el cálculo de valores que permiten el análisis estadístico descriptivo comparativo de los datos obtenidos de los modelos y de la boya, así mismo como las ecuaciones utilizadas para los indicadores que validan la habilidad de pronóstico de los modelos NWW3, NAH y WNA con relación a las variables el periodo de la ola, altura, dirección y velocidad de oleaje y las componentes U y V.

Se mostraron las pruebas realizadas del script implementado para la estadística descriptiva comparativa de las variables de altura de la ola, periodicidad de la ola, dirección y velocidad del viento entre los pronósticos del modelo para el punto de referencia y los datos de la boya para los datos recopilados en 2015 de la salida diaria de las 12Z y de los datos diarios 2014-2015 de las 00Z.

Entre las variables simuladas en las salidas de las 12Z, desde el punto de vista visual, el comportamiento temporal de la altura de la ola y de la velocidad de la ola presentó ser muy similar entre la boya y los modelos NWW3 y WNA.

Se obtuvo, que el modelo global NWW3 en las salidas 12Z provee mejores pronósticos que el modelo regional WNA para todas las variables, y que los resultados del pronóstico del modelo WNA para el lag 0 fueron casi similares a los del modelo NWW3 para el lag 3.

Se encontró que en las salidas 12Z del NWW3 lag 0, el periodo de la ola presentó un ajuste algo menor que el presentado en la altura de la ola, aunque relativamente bueno. La velocidad de la ola presentó aún menor ajuste al igual que el componente U. Los peores pronósticos se observaron en la dirección de la ola y componente V

Se encontró que las salidas de las 00Z del modelo NAH tiene un coeficiente de correlación mayor que el NWW3, aunque los indicadores de ajuste de la variable que mejor ha sido pronosticada con los dos modelos (altura de la ola para el lag 0) mostraron que el modelo global NWW3 pronostica mejor que el modelo regional NAH.

Se obtuvo que en las salidas de las 00Z del modelo NWW3 para el lag 0, la altura de la ola fue muy bien simulada, seguida por la velocidad de la ola, luego el periodo de la ola, y por último los de menor ajuste fueron las componentes U y V.

Se encontró que en las salidas de las 00Z las variables periodo de la ola y velocidad de la ola son un poco mejor simuladas con el modelo regional NAH que con el NWW3, en

cambio las variables dirección de la ola y las componentes U y V aunque son simuladas con poca precisión por los dos modelos, los resultados son mejores con el modelo NWW3.

En general se observó que el modelo global NWW3 da mejor pronóstico que los modelos regionales WNA y NAH, lo cual posiblemente se deba a que un modelo global puede incluir varios procesos de gran escala que influyen en los procesos locales de un área de estudio como la analizada en el presente trabajo, donde los modelos regionales presentan mayores dificultades para reflejar sus condiciones oceánicas y atmosféricas.

Teniendo en cuenta que en la región el periodo de la ola dominante es de 8 segundos y que el sensor de medición tiene una precisión de +/- 1 s, se apreció en general que las series modelada y observada conservaron una tendencia temporal similar, y que los datos modelados lograron simular valores oscilantes hasta con décimas de segundos.

Se observó un desfase entre los registros de la boya y el modelo NWW3 en las variables dirección de la ola y componente V.

Se encontró que la altura de la ola es la variable mejor correlacionada en comparación con las otras variables en todos los modelos, siendo mejor simulada por el modelo global NWW3.

Se obtuvo que con las salidas de las 12Z del modelo NWW3 para diferentes lags, al igual que con los de las salidas de las 00Z, los resultados en el lag 0 son similares en precisión y, a medida de que el lag aumenta los resultados esta precisión en la simulación disminuye.

Se observó que el mejor ajuste lo proveen los resultados de las 00Z.

Se verificó la habilidad de los modelos NWW3, NAH y WAN en resolver de forma pronosticada los datos registrados por la boya.

BIBLIOGRAFÍA

<http://polar.ncep.noaa.gov>

http://www.ndbc.noaa.gov/station_page.php?station=42058

MEDINA P., L. VARGAS, J. NAVARRO, C. CANUL, S. PERAZA. 2010. Comparación de medidas de desviación para validar modelos sin sesgo, sesgo constante o proporcional. Universidad y Ciencias pp. 255-264.

NASH, J. E. and J. V. Sutcliffe (1970), River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282–290.

PIELKE, RA. 1984. Mesoscale Meteorological Modeling. 1ª edición, Academic Press, New York.

Stauffer, D.R. and N.L. Seaman, 1990: Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part I: Experiments with synoptic-scale data. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1250-1277.

WILLMOTT C., Steven G. Ackleson, Robert E. Davis, Johannes J. Feddema, Katherine M. Klink, David R. Legates, James O'Donnel, and Clinton M. Rowe 1985, Statistics for the Evaluation and Comparison of Models. *Journal of Geophysical Research*, vol. 90, No C5, pp. 8995-9005.