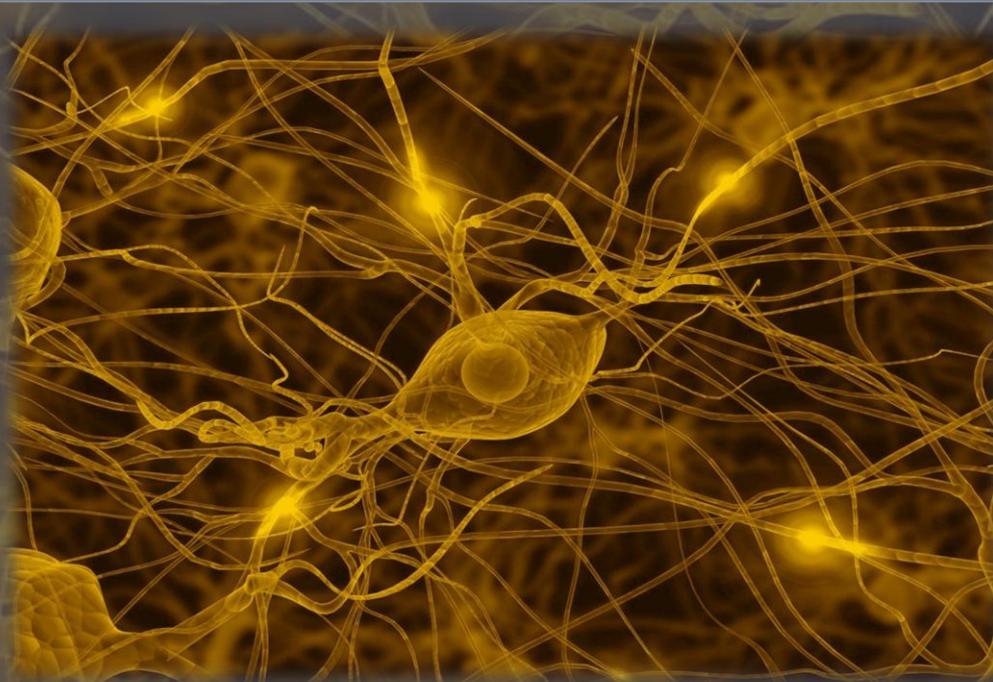


# REDES NEURONALES ARTIFICIALES APLICADAS A LA PREDICCIÓN Y ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL OLEAJE.



Octubre 2012

Marco Matamala Castro  
Prof. Guía: Luis Zamorano Riquelme

# Motivación

---

- La tesis se enmarca dentro de las iniciativas para el desarrollo de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) bajo el proyecto INNOVA CORFO “Catastro del Recurso Energético Asociado a Oleaje para el apoyo a la Evaluación de Proyectos de Generación de Energía Undimotriz”, específicamente en la caracterización del clima de olas tanto para aguas profundas como en aguas someras.

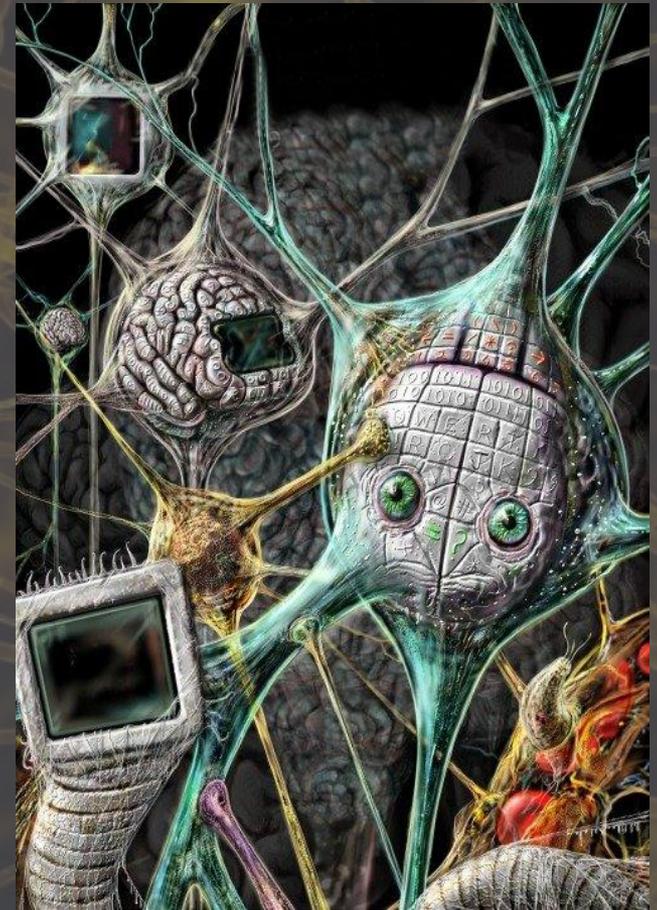
# Objetivos

---

- Mediante Redes Neuronales Artificiales (RNA) Transferir parámetros de resumen entre Boya TRIAXYS e instrumentos ADCP (Transferencias de oleaje).
- Buscar mejores ajustes entre resultados obtenidos del modelo WaveWatch III (NOAA) y los datos medidos, mediante una RNA.
- Construir espectros sintéticos por medio de RNA a partir de parámetros de resumen. Además, que logre reproducir bimodalidades del oleaje.

# ¿Qué son las Red Neuronal Artificial (RNA)?

- Son modelos computacionales que tratan de replicar, de manera simplificada, el complejo funcionamiento del cerebro humano.
- Consisten en un sistema interconectados de neuronas que colaboran para producir un estímulo de salida.
- Mediante métodos de propagación permiten ajustar sus interconexiones hasta lograr una estimación deseada o una clasificación aceptable.



# Principales Características de las RNA son:

---



- Aprender.
- Generalizar.
- Abstraer.

# Descripción de RNA.

- La acumulación

$$v_k = \sum_{i=0}^p x_i w_{ik}$$

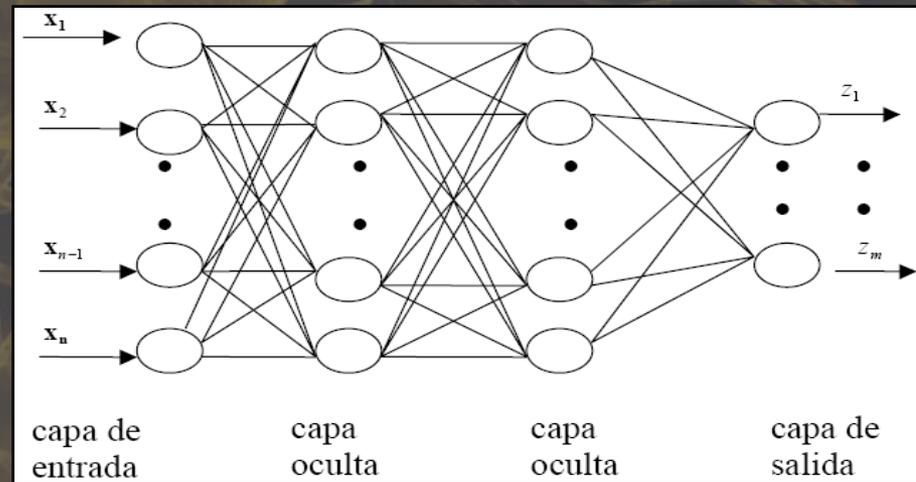
$x_i$  Patrón de entrada

$w_{ik}$  Peso sináptico o peso

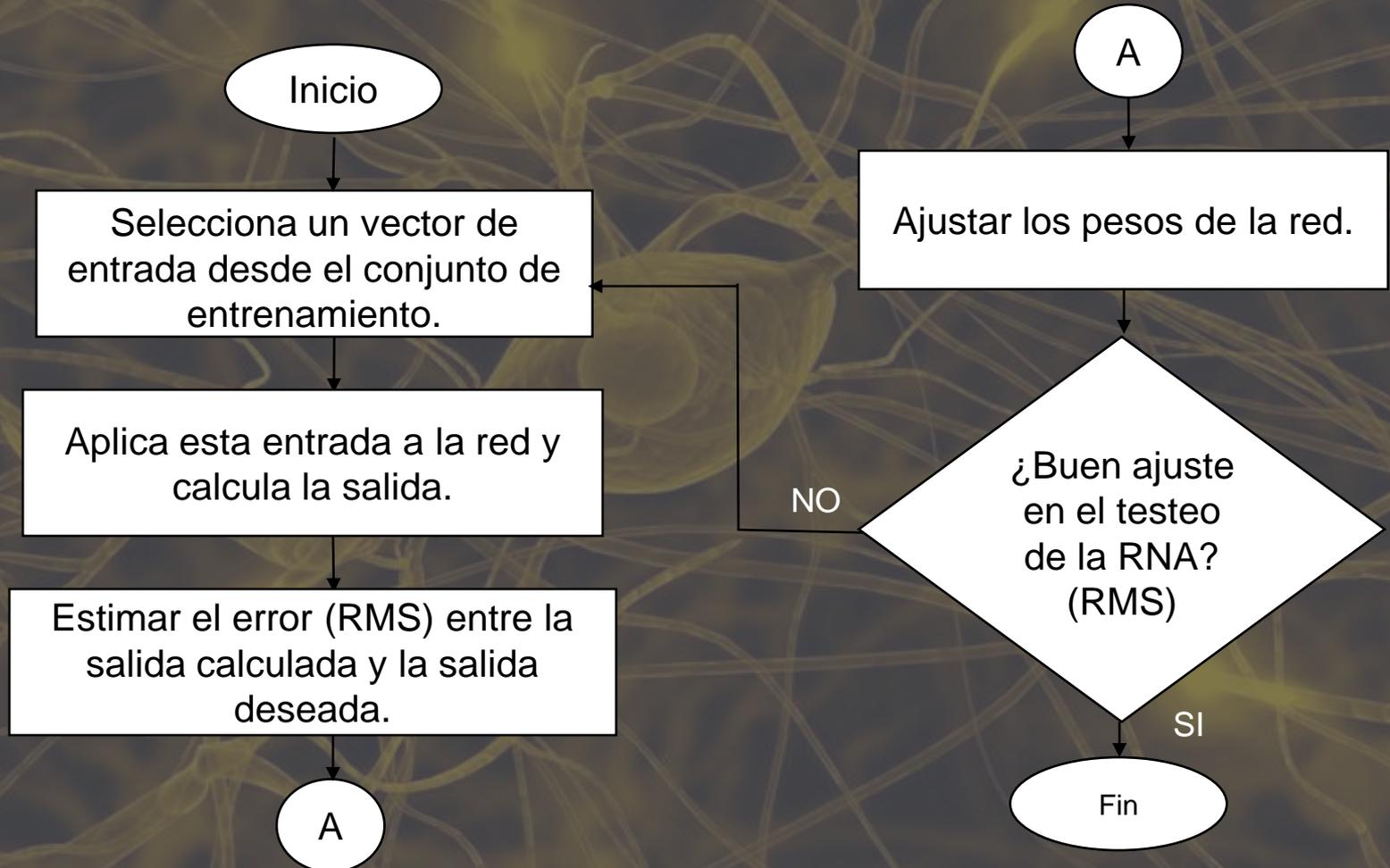
- Función de activación

$$y_k = \frac{1}{1 + e^{-v_k}}$$

$y_k$  Salida de la neurona  $k$



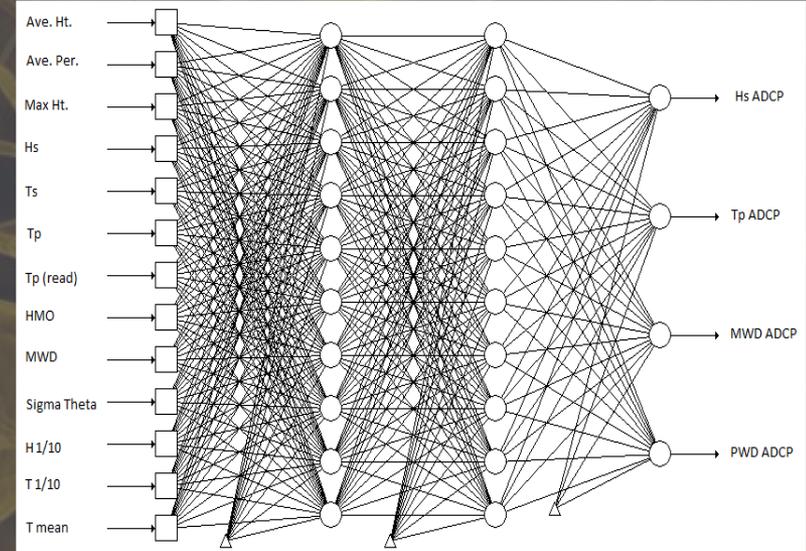
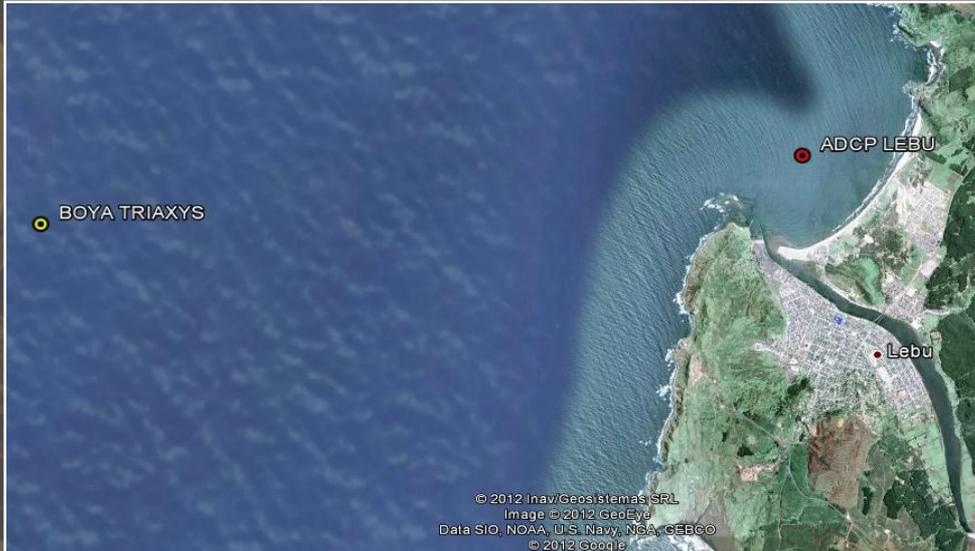
# Método Backpropagation.



---

# Casos de aplicación realizados en Proyecto de Título

# Caso 1: Transferencia de oleaje entre Boya TRIAXYS y ADCP, Lebu VIII región.



Parámetros de resumen de Boya TRIAXYS (Hs, Tp, MWD, Tm ... etc)

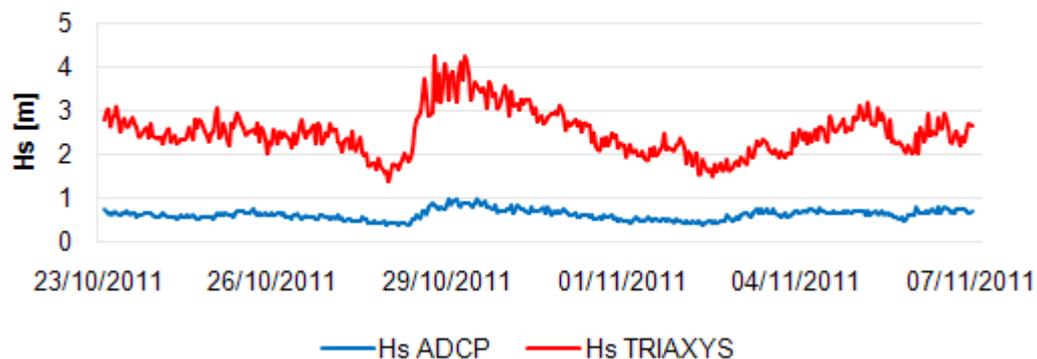
Parámetros de resumen dispositivo ADCP (Hs, PWD, MWD, Tp)

Set de entrenamiento :  
01-09-2011 21:00 al 23-10-2011 21:00

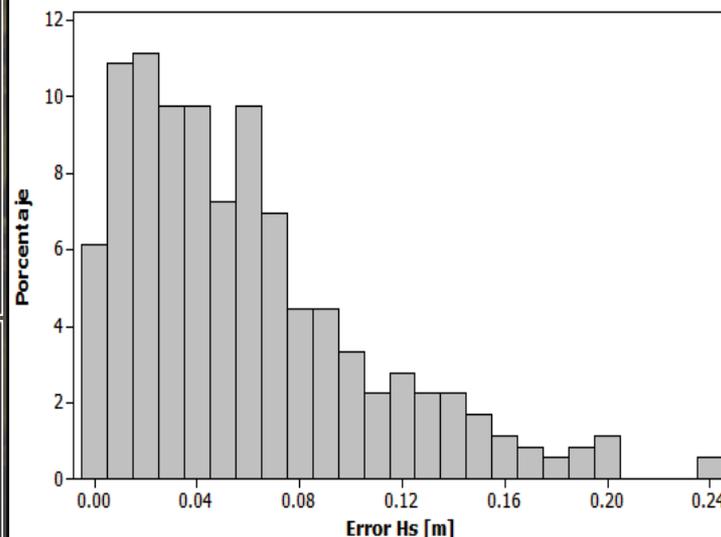
Set de testeo :  
23-10-2011 22:00 al  
07-11-2011 22:00

# Diferencia entre instrumentos y resultados de RNA

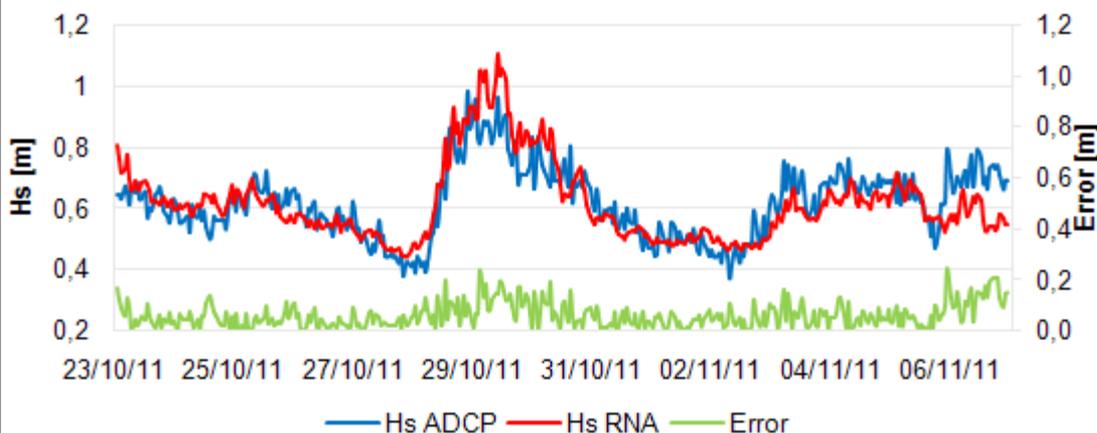
## Serie de Testeo Hs ADCP con Hs TRIAXYS



## Histograma de Error Hs [m]

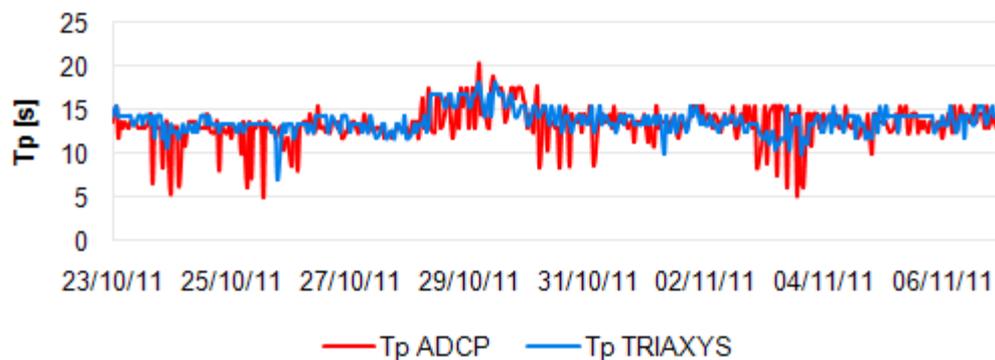


## Hs ADCP Y Hs RNA



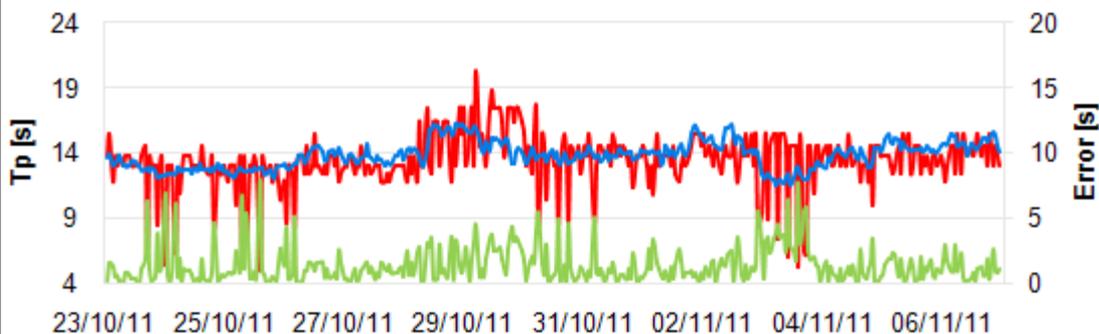
# Diferencia entre instrumentos y resultados de RNA

## Serie de testeo Tp ADCP con Tp TRIAXYS



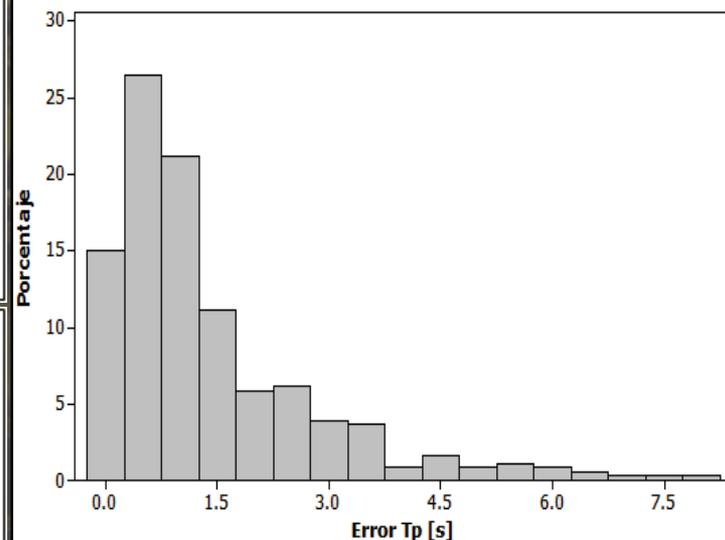
— Tp ADCP — Tp TRIAXYS

## Tp ADCP Y Tp RNA



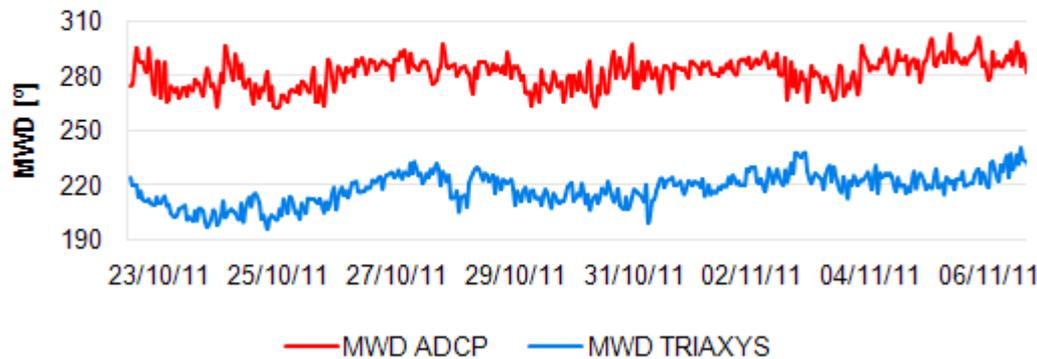
— Tp ADCP — Tp RNA — Error

## Histograma de Error Tp [s]

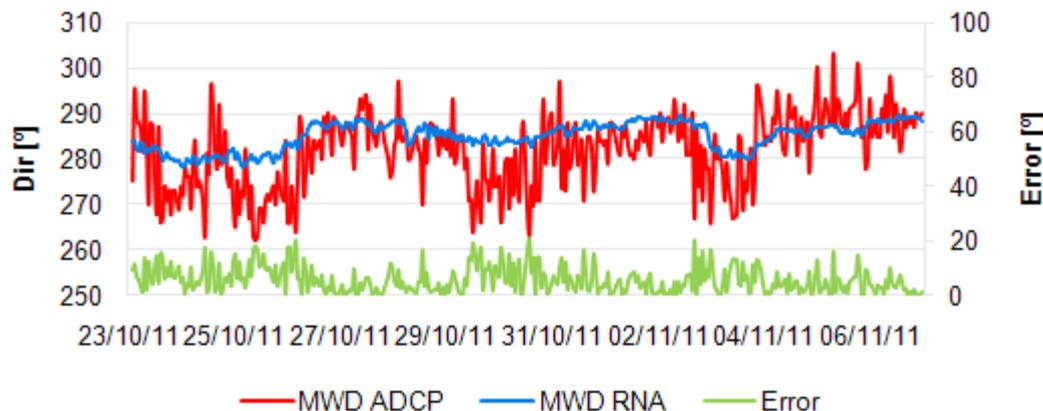


# Diferencia entre instrumentos y resultados de RNA

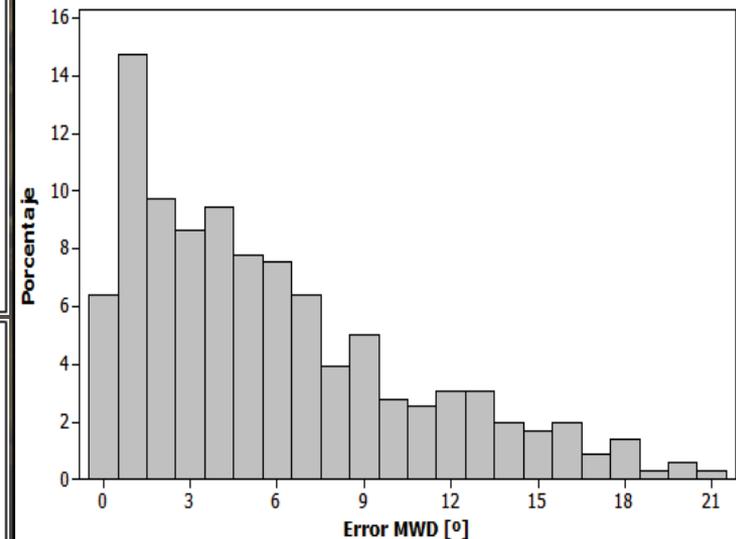
## Set Testeo MWD ADCP con MWD TRIAXYS



## MWD ADCP Y MWD RNA

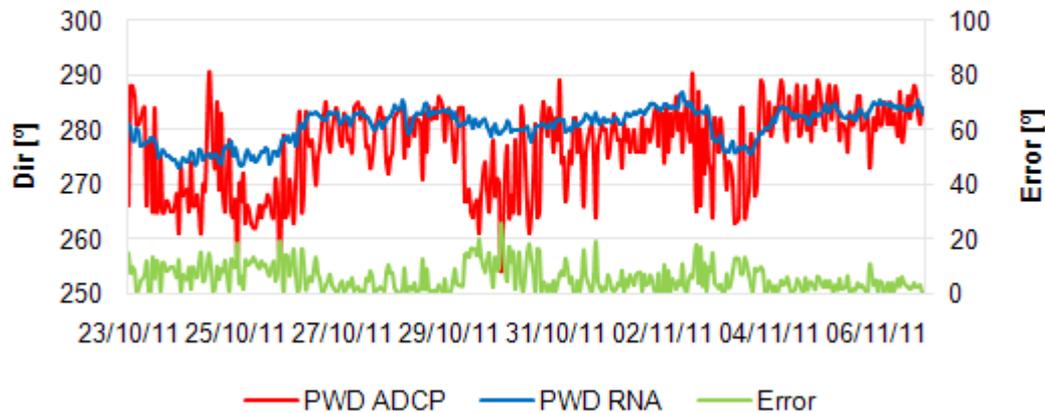


## Histograma de Error MWD [°]

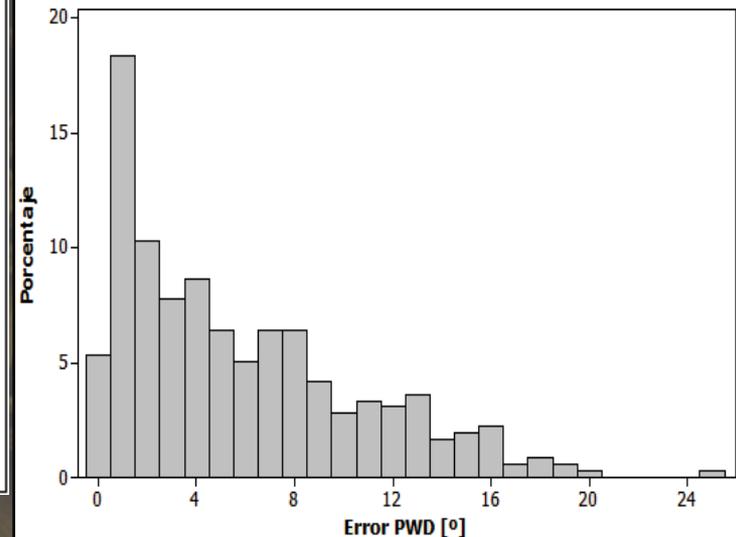


# Resultados RNA

## PWD ADCP Y PWD RNA



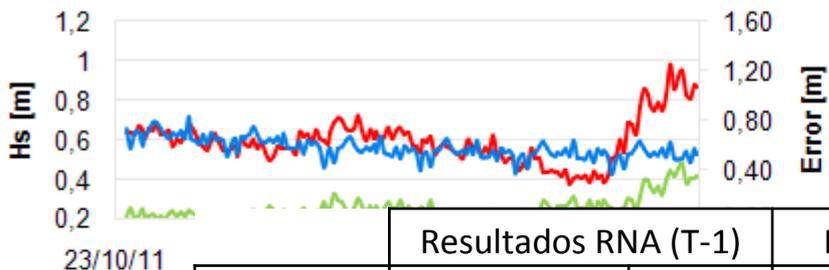
## Histograma de Error PWD [°]



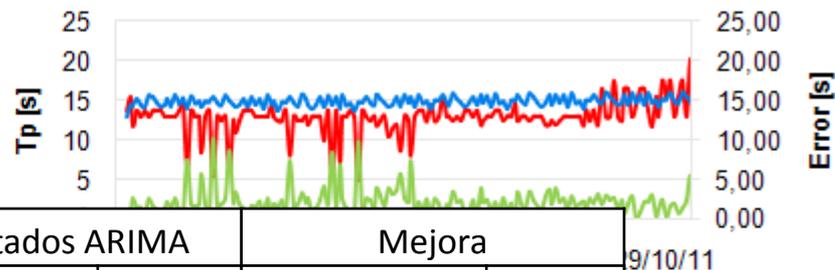
Parámetro	Resultados (T-1)		Resultados (T)		Mejora	
	Ajuste	RMS	Ajuste	RMS	Ajuste	RMS
Hs	89.23%	0.076	87.75%	0.084	1.48%	-0.008
Tp	53.30%	1.981	53.29%	1.982	0.01%	-0.002
MWD	56.10%	7.516	53.91%	7.288	2.19%	0.228
PWD	58.87%	7.525	57.37%	7.601	1.49%	-0.076

# Resultados con Método de predicción ARIMA

## Hs ADCP Y Hs ARIMA

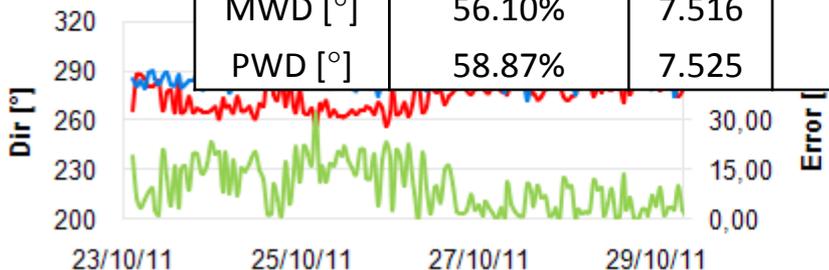


## Tp ADCP Y Tp ARIMA

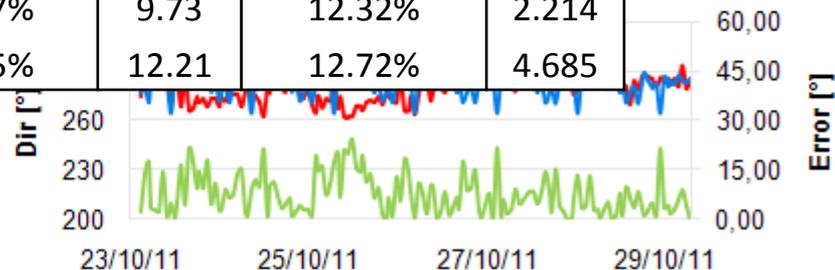


Parámetro	Resultados RNA (T-1)		Resultados ARIMA		Mejora	
	Ajuste	RMS	Ajuste	RMS	Ajuste	RMS
Hs [m]	89.23%	0.076	42.26%	0.13	46.97%	0.054
Tp [s]	53.30%	1.981	37.97%	2.88	15.33%	0.899
MWD [°]	56.10%	7.516	43.77%	9.73	12.32%	2.214
PWD [°]	58.87%	7.525	46.15%	12.21	12.72%	4.685

## PWD



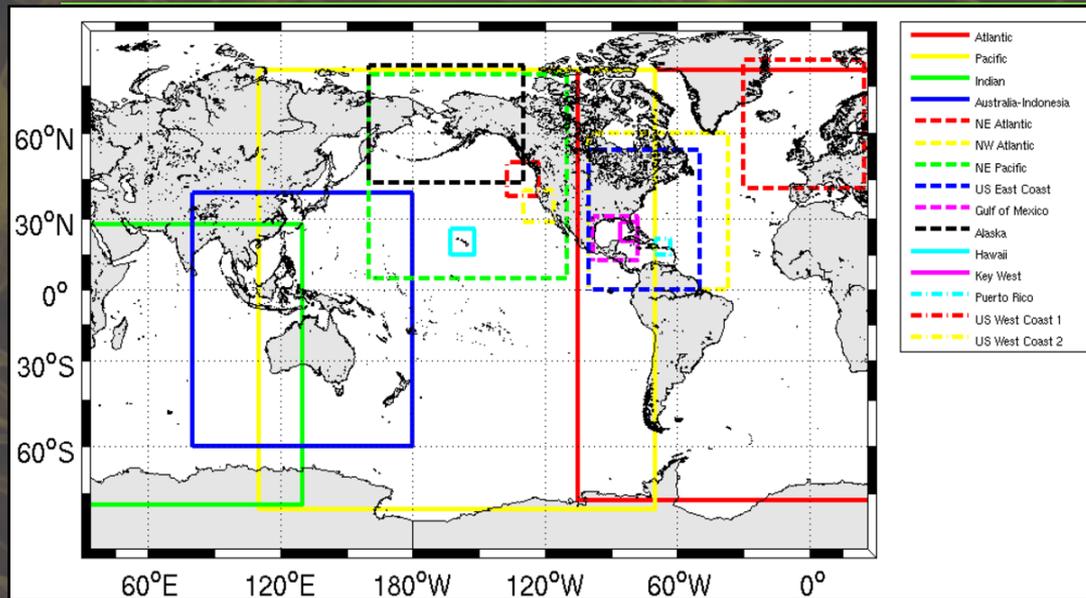
## MWD ARIMA



— PWD ADCP — PWD ARIMA — Series4

— MWD ADCP — MWD ARIMA — Error

# Caso 2: Mejora de ajuste en parámetros de oleaje NOAA (WaveWatch III) a valores medidos.

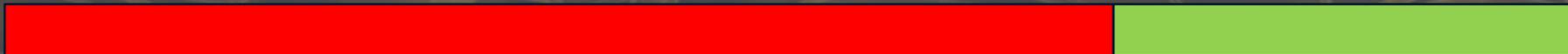


Coordenadas Nodo:

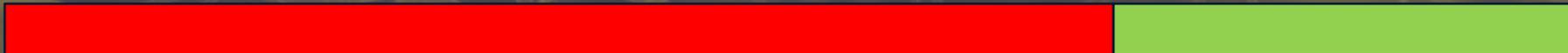
18° 50' 00.00" S

71° 00' 00.00" W

Parámetros resumen WaveWatch III (NOAA) (Hs, Tp, MWD, PWD, WindU, WindV)



Parámetros resumen Boya SHOA (Hs, Tp, MWD, PWD)

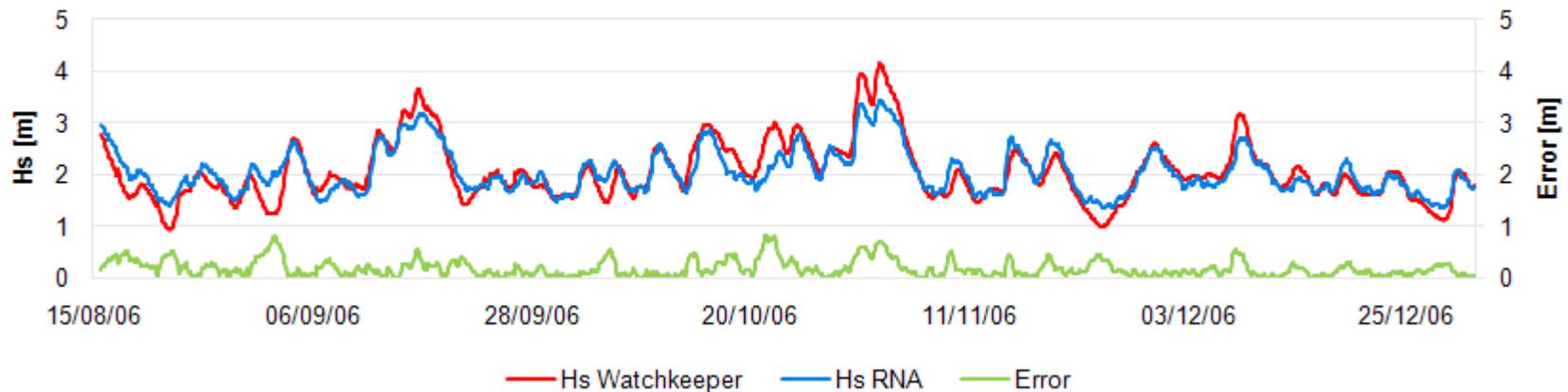


Set de entrenamiento :  
09-02-2005 03:00 al 15-08-2006 15:00

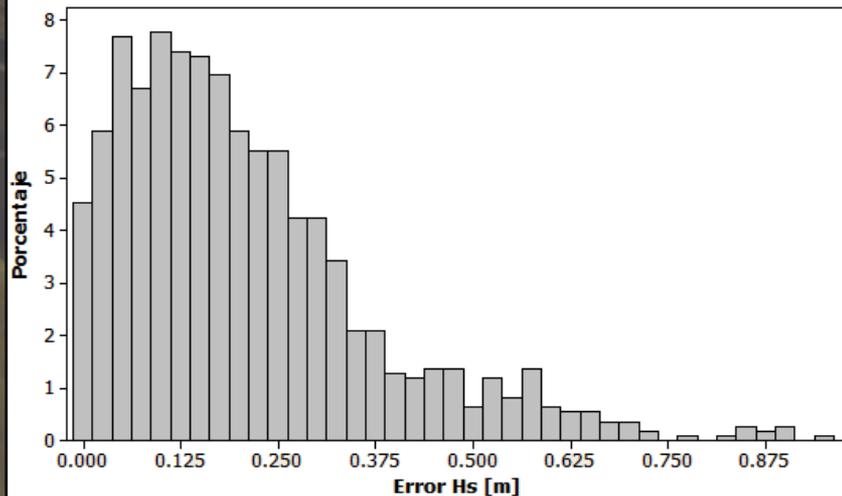
Set de testeo :  
15-08-2006 18:00 al  
31-12-2006 21:00

# Resultados y ajustes de series de Parámetros

## Hs Watchkeeper vs Hs RNA

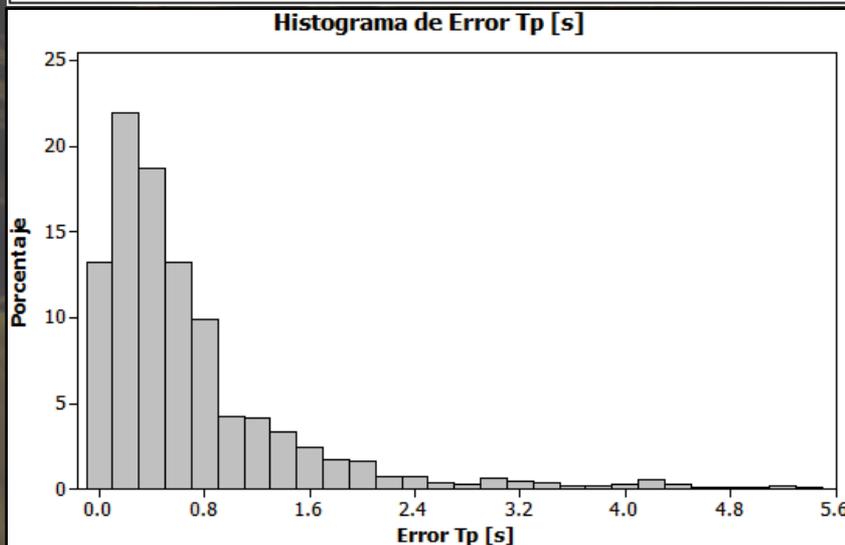
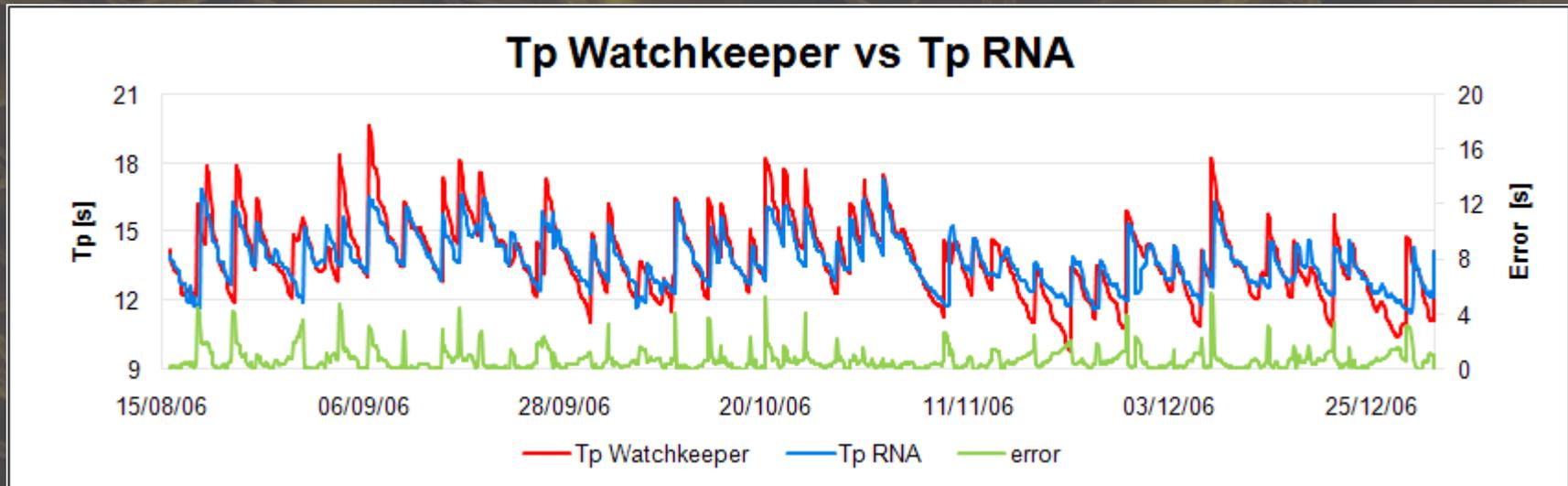


## Histograma de Error Hs [m]



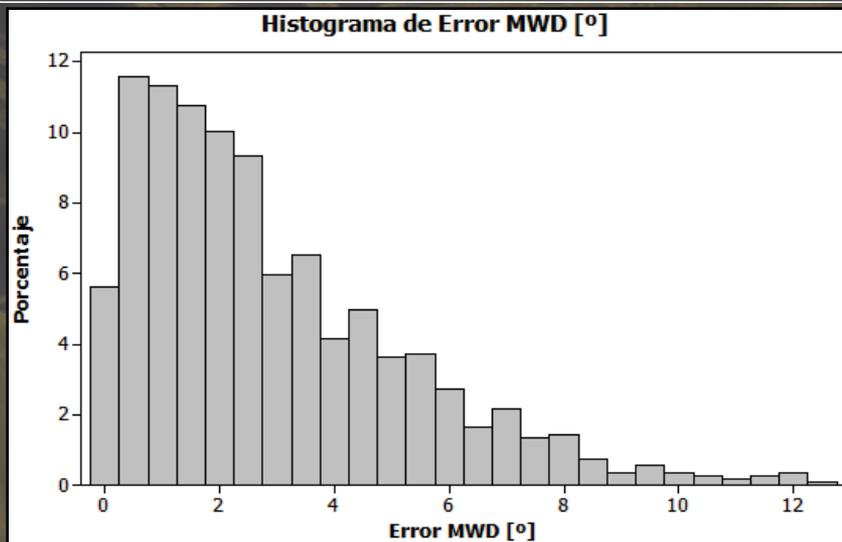
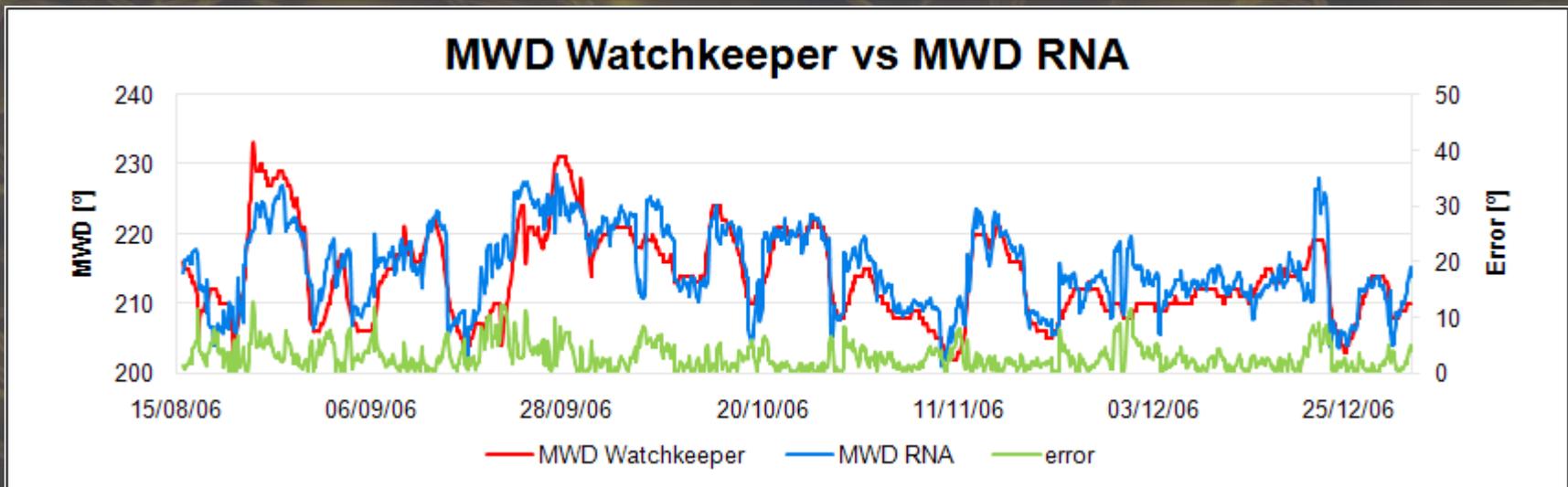
Caso	Arquitectura RNA	5-15-1
Hs	RMS Train (m)	0.218
	RMS testeo (m)	0.247
	Ajuste (%)	93.68
	Desv. Estándar	0.43
	Iteraciones	24

# Resultados y ajustes de series de Parámetros



Caso	Arquitectura RNA	5-10-1
Tp	RMS Train (s)	1.178
	RMS testeo (s)	1.090
	Ajuste (%)	84.94
	Desv. Estándar	1.23
	Iteraciones	95

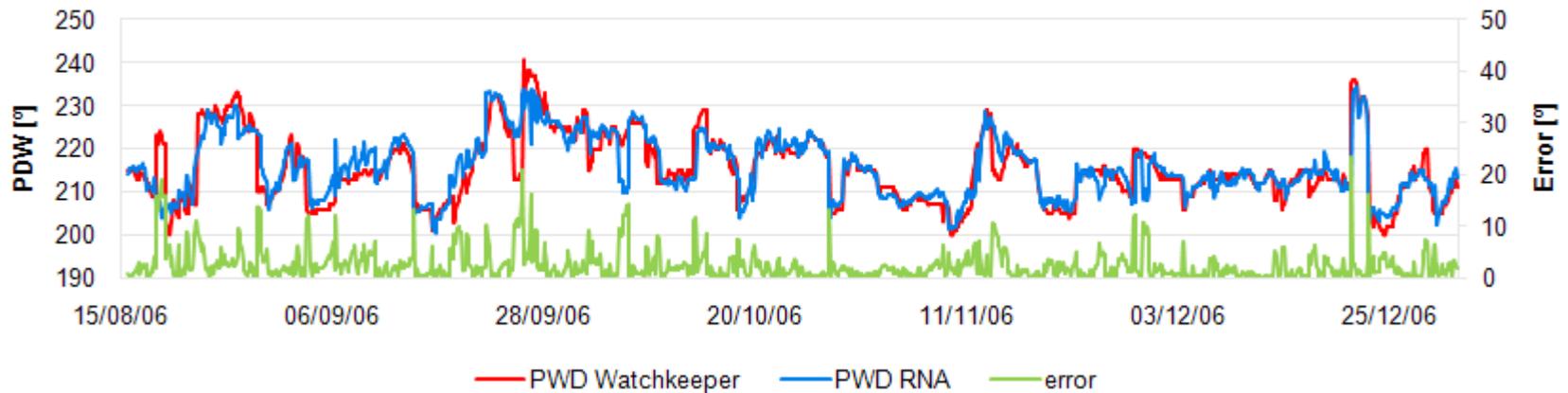
# Resultados y ajustes de series de Parámetros



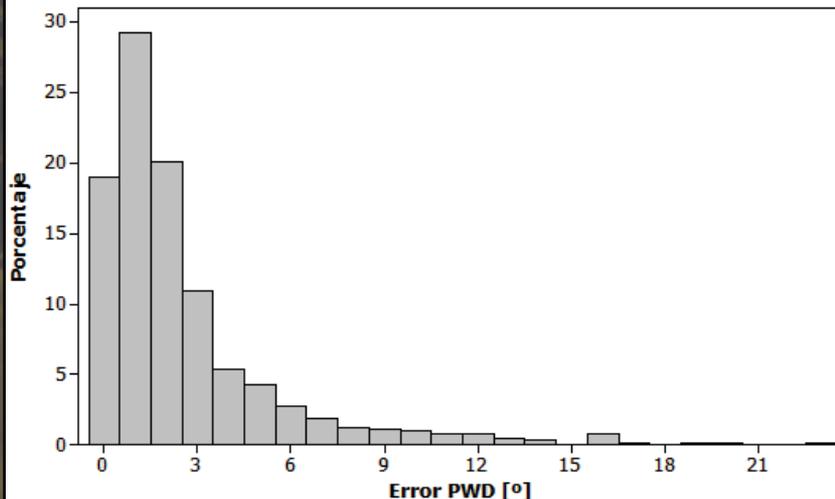
Caso	Arquitectura RNA	5-10-1
<b>MWD</b>	RMS Train (°)	5.138
	RMS testeo (°)	3.692
	Ajuste (%)	89.93
	Desv. Estándar	5.70
	Iteraciones	11878

# Resultados y ajustes de series de Parámetros

## PWD Watchkeeper vs PWD RNA



## Histograma de Error PWD [°]

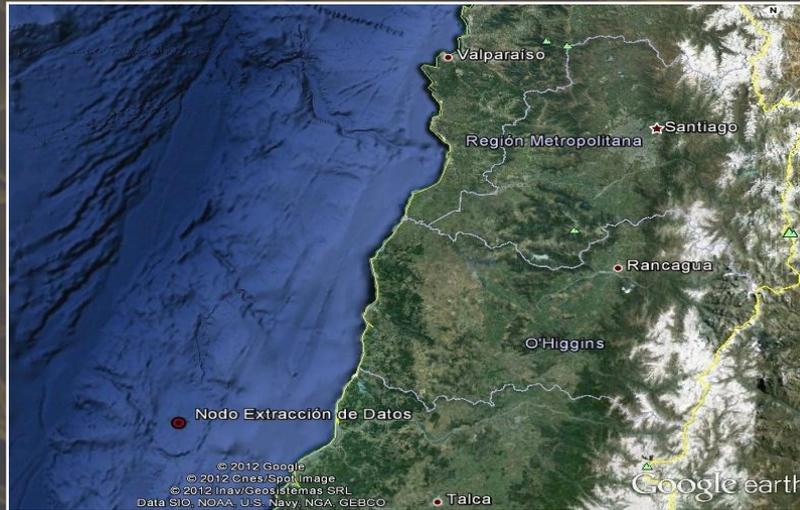


Caso	Arquitectura RNA	5-10-15-1
PWD	RMS Train (°)	6.213
	RMS testeo (°)	3.903
	Ajuste (%)	92.90
	Desv. Estándar	7.46
	Iteraciones	6660

# Resumen de resultados modelación RNA casos.

		Alternativas de Arquitectura de RNA				
Caso		5-10-1	5-15-1	5-10-10-1	5-10-15-1	5-15-20-1
<b>Hs</b>	RMS Train (m)	0.225	0.218	0.241	0.214	0.239
	RMS testeo (m)	0.269	0.247	0.273	0.252	0.267
	Ajuste (%)	92.39	93.68	92.36	93.18	92.73
	Desv. Estándar	0.42	0.43	0.43	0.41	0.43
	Iteraciones	207	24	31	28	22
<b>Tp</b>	RMS Train (s)	1.178	1.155	1.209	1.213	1.184
	RMS testeo (s)	1.090	1.275	1.069	1.069	1.166
	Ajuste (%)	84.94	84.66	84.73	84.56	83.82
	Desv. Estándar	1.23	1.29	1.07	1.14	1.28
	Iteraciones	95	414	29	27	90
<b>MWD</b>	RMS Train (°)	5.138	5.13	5.174	5.134	5.138
	RMS testeo (°)	3.692	3.837	3.739	3.740	3.707
	Ajuste (%)	89.93	89.61	89.71	89.93	89.87
	Desv. Estándar	5.70	5.92	5.71	5.79	5.68
	Iteraciones	11878	3122	7784	6813	4104
<b>PWD</b>	RMS Train (°)	6.239	6.216	6.271	6.213	6.059
	RMS testeo (°)	4.015	4.042	3.892	3.903	3.991
	Ajuste (%)	92.42	92.39	92.83	92.90	92.58
	Desv. Estándar	7.42	7.46	7.40	7.46	7.46
	Iteraciones	1908	962	3538	6660	6549
<b>TODOS INCLUIDOS</b>	RMS Train	3.334	3.704	3.209	3.430	3.431
	RMS testeo	2.487	2.674	2.353	2.685	2.669
	Ajuste (%)	88.59	87.11	89.86	87.20	87.34
	Iteraciones	603	680	1574	310	108

# Caso 3: Construcción de espectros sintéticos direccionales por medio de RNA.



Coordenadas Nodo:

35° 00' 00.00" S

73° 00' 00.00" W

Parámetros resumen WaveWatch III (NOAA) (Hs, Tp, MWD, PWD, WindU, WindV)



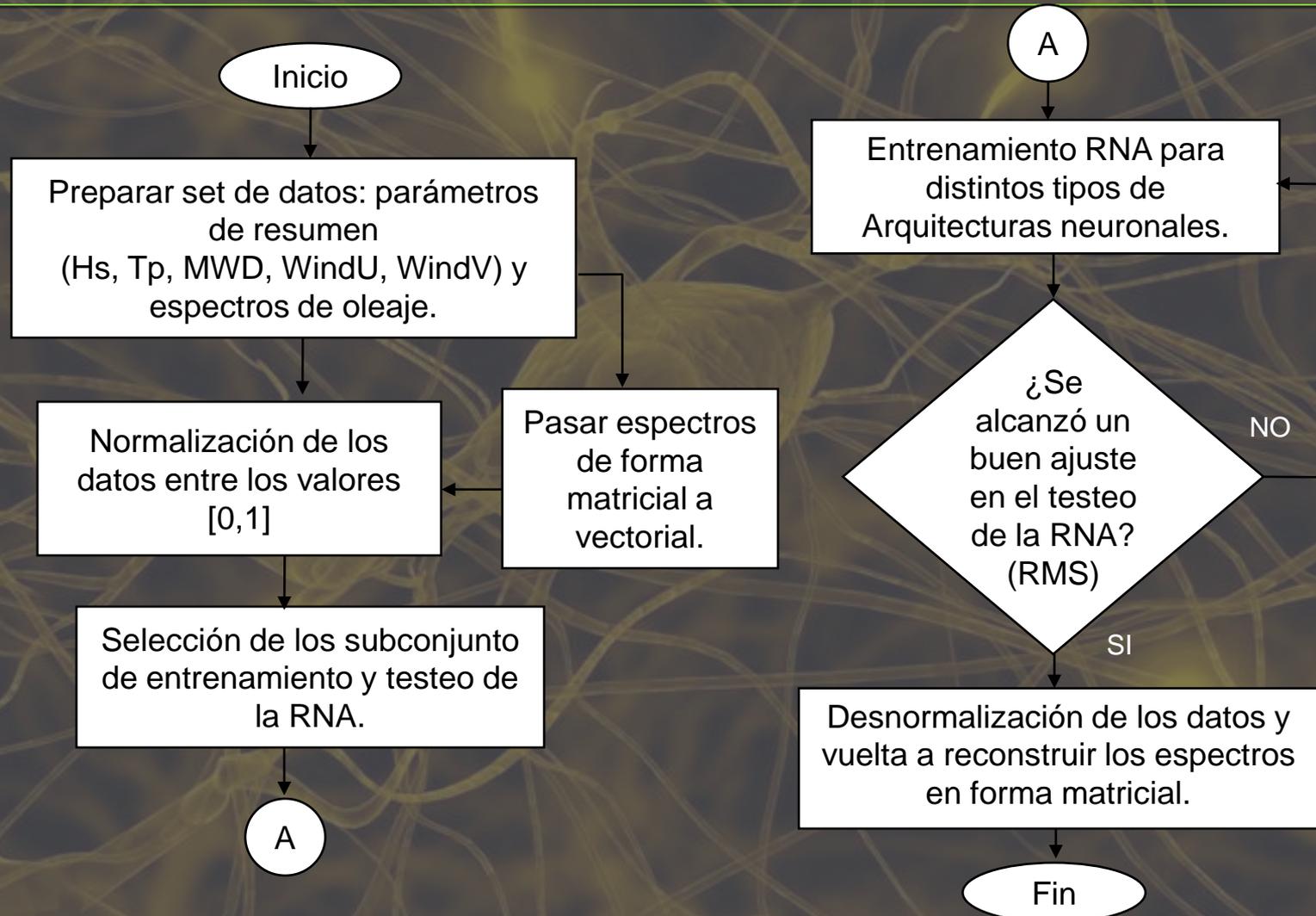
Espectros de densidad direccional de oleaje (SHOA y INH)



Set de entrenamiento :  
20-11-2000 12:00 al 31-12-2005 21:00

Set de testeo :  
01-01-2006 00:00 al  
31-12-2006 18:00

# Metodología de entrenamiento



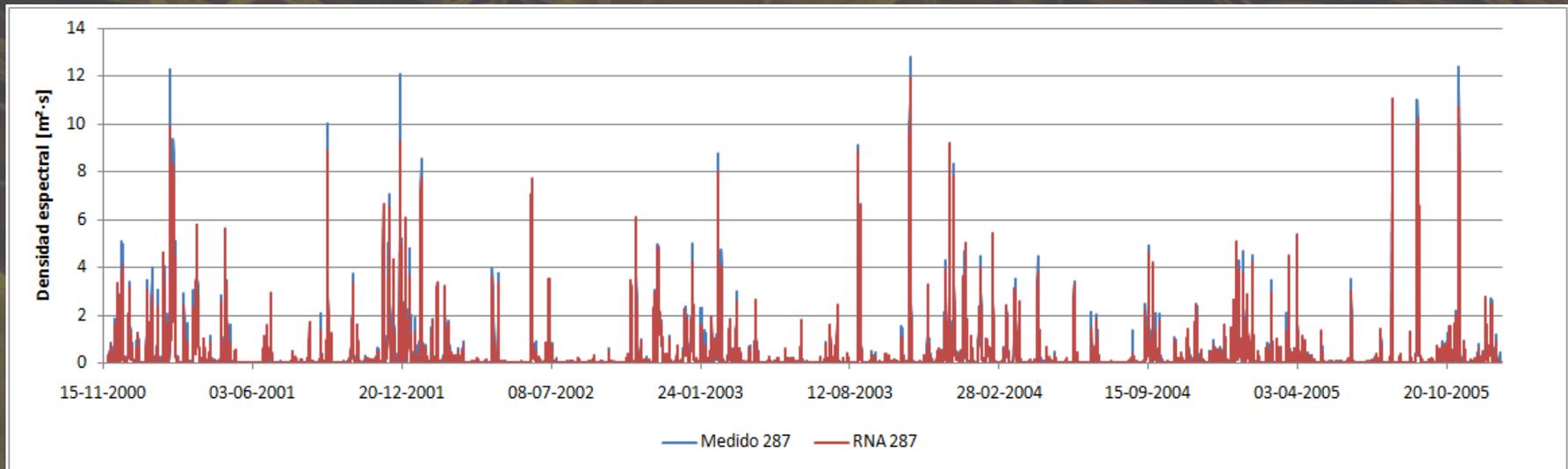
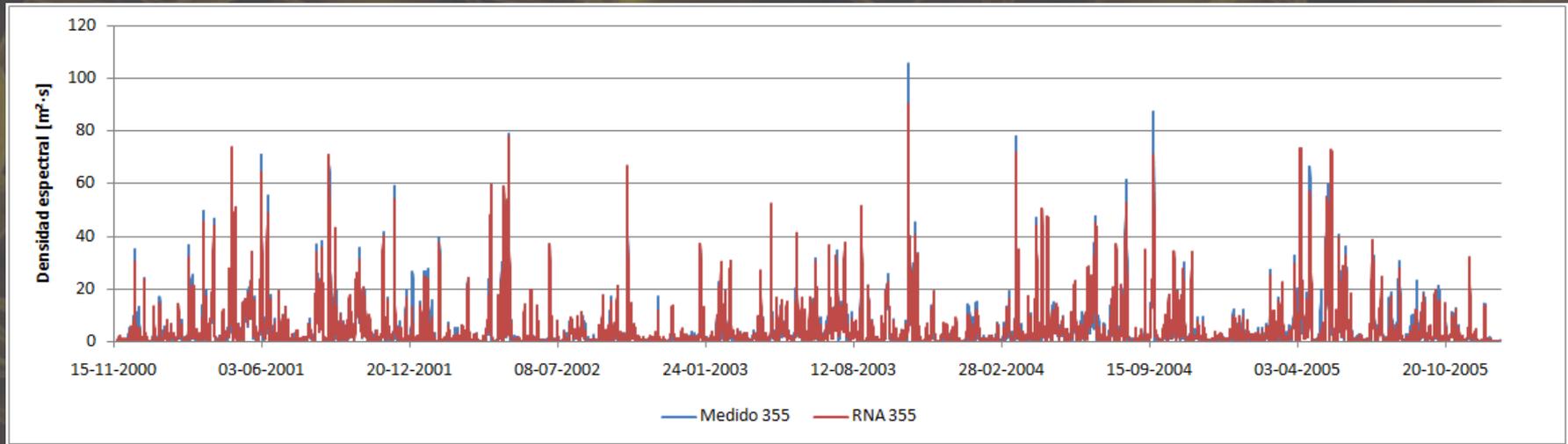
# Arquitecturas Neuronales Realizadas

1. Una capa oculta con 250 neuronas.
2. Una capa oculta con 300 neuronas.
3. Una capa oculta con 350 neuronas.
4. Dos capas ocultas con 250 neuronas en la primera y 400 neuronas en segunda.

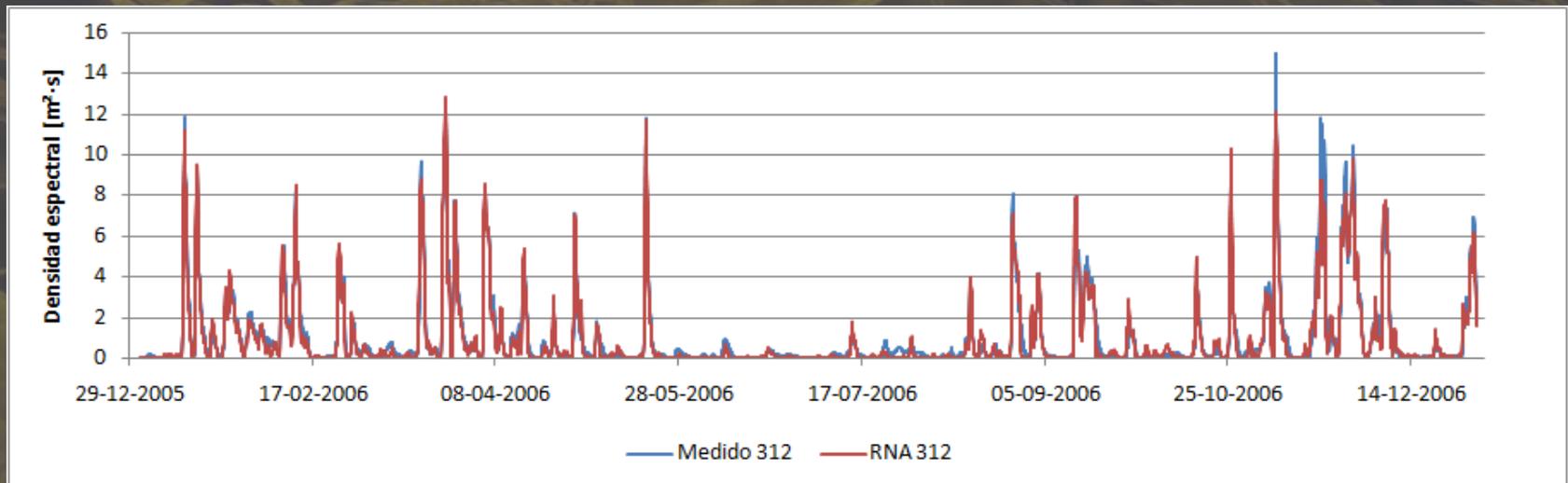
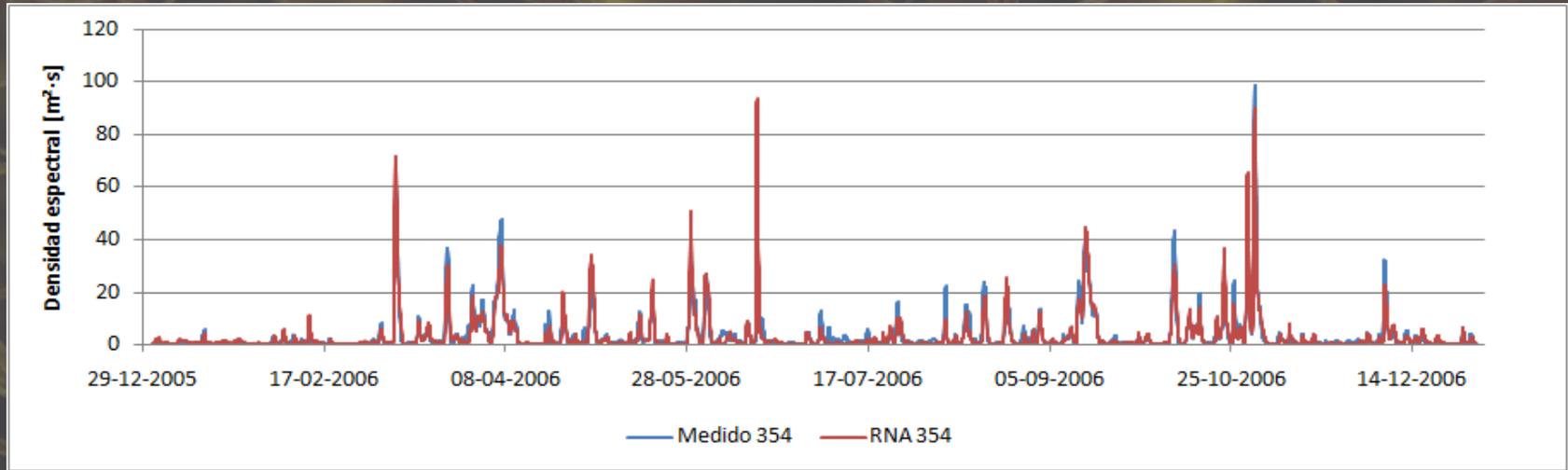
Alter.	RMS		Iter.	Tiempo de Cómputo
	Entren. [ $m^2 s$ ]	Testeo [ $m^2 s$ ]		
1	0.01341	0.02534	44	15h 45m
2	0.01414	0.02556	99	35h 23m
3	0.0133	0.02523	46	18h 30m
4	0.11457	0.11457	97	84h 06m

Ajuste promedio para el testeo de la red de 91.63% y un R2 de 84.76%.

# Resultado Entrenamiento 5 años



# Resultado Testeo 1 año

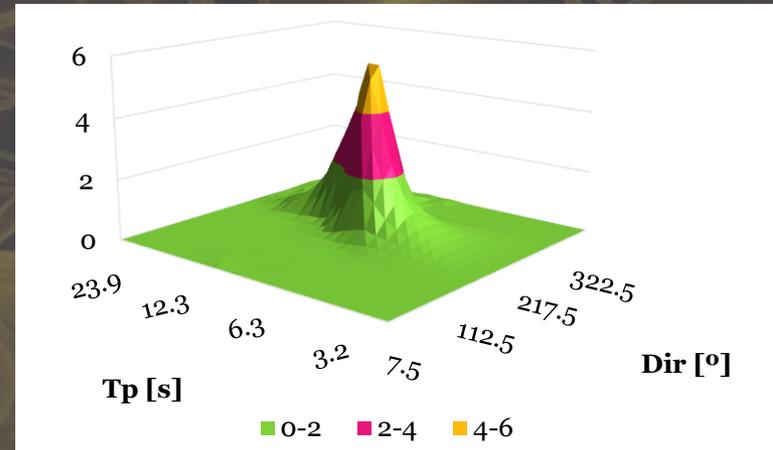
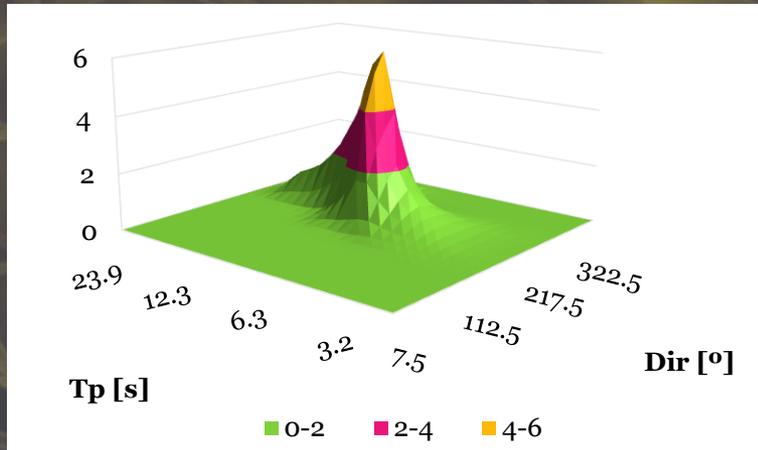


# Resultados espectros sintéticos

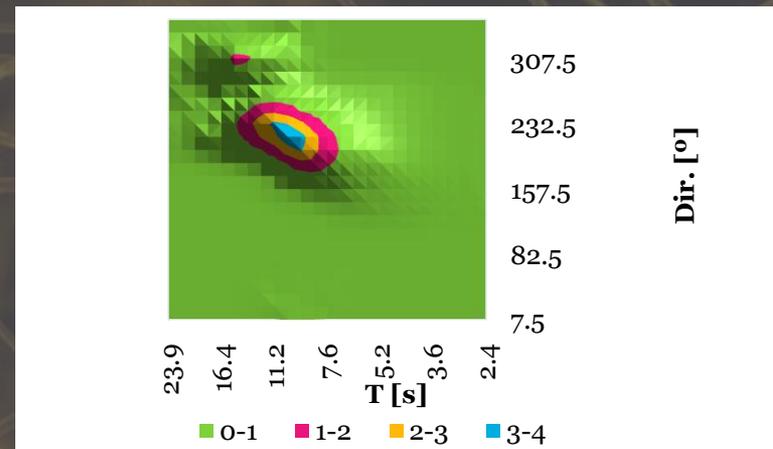
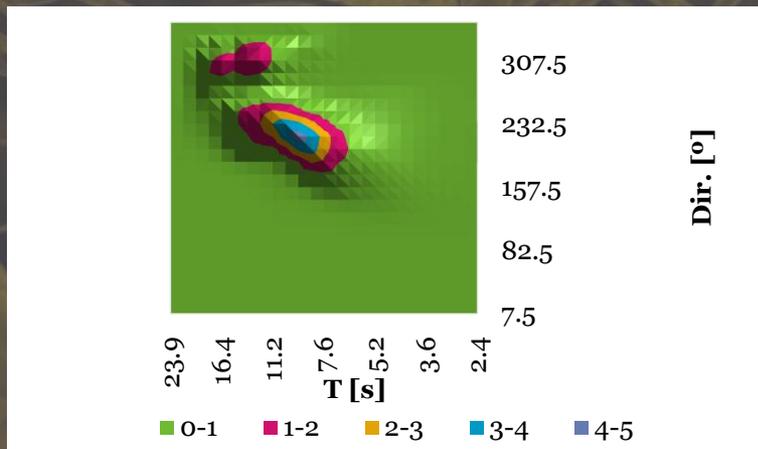
Espectro Medido

Espectro RNA

4 de Diciembre del 2006 a las 03:00 horas



30 de Enero del 2006 a las 15:00 horas

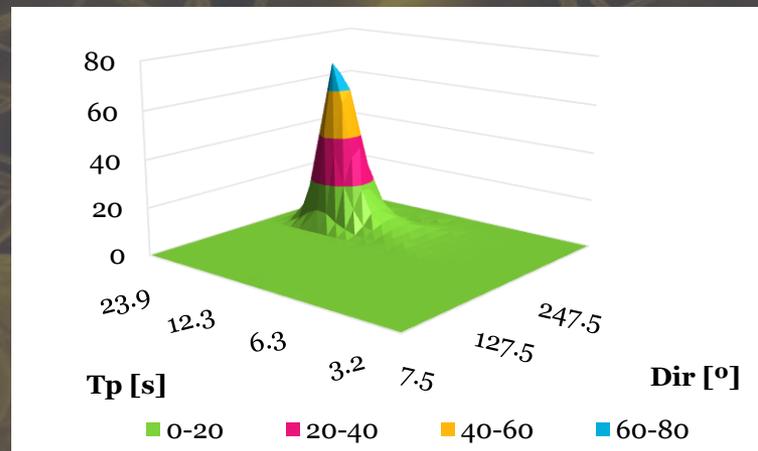
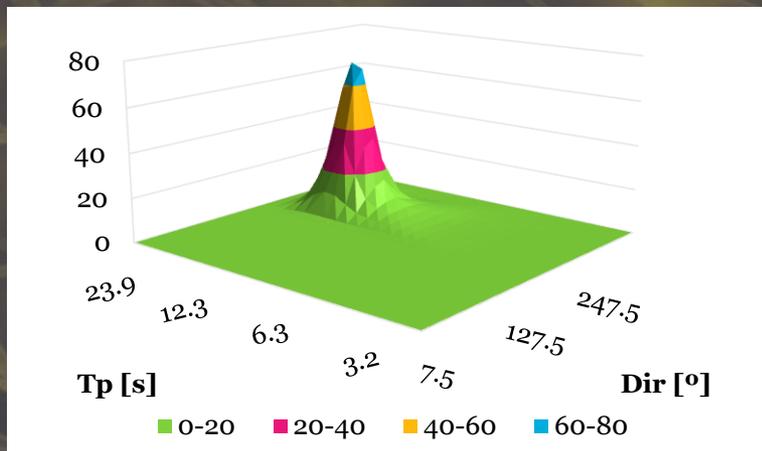


# Resultados espectros sintéticos

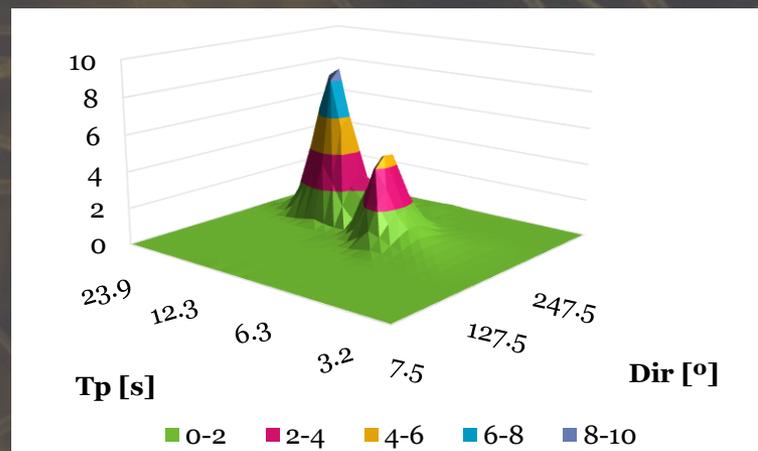
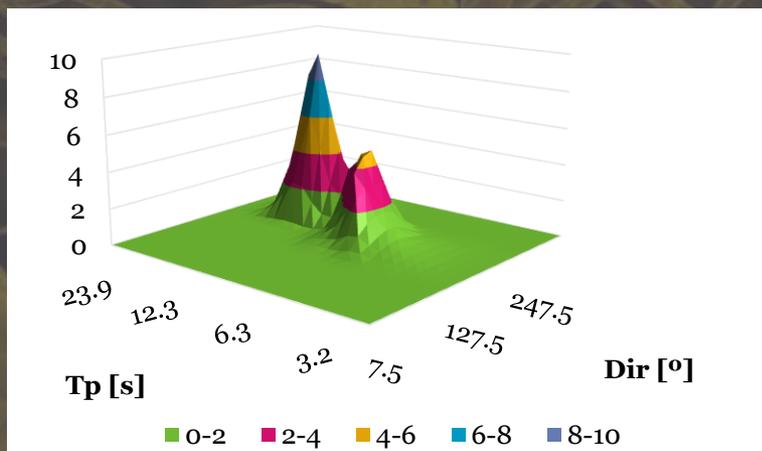
## Espectro Medido

## Espectro RNA

20 de Abril 2006 a las 12:00 horas



24 de Noviembre del 2006 a las 06:00 horas

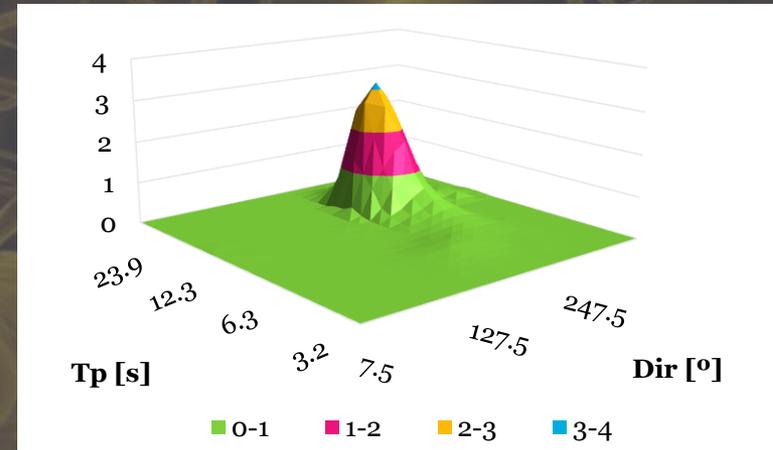
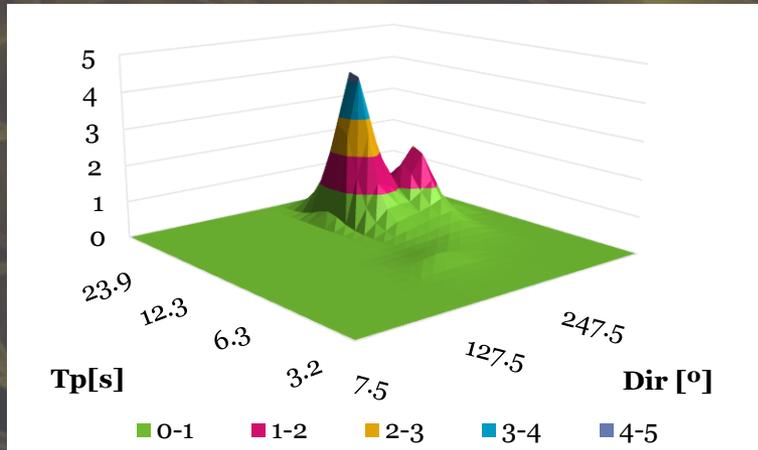


# Resultados espectros sintéticos

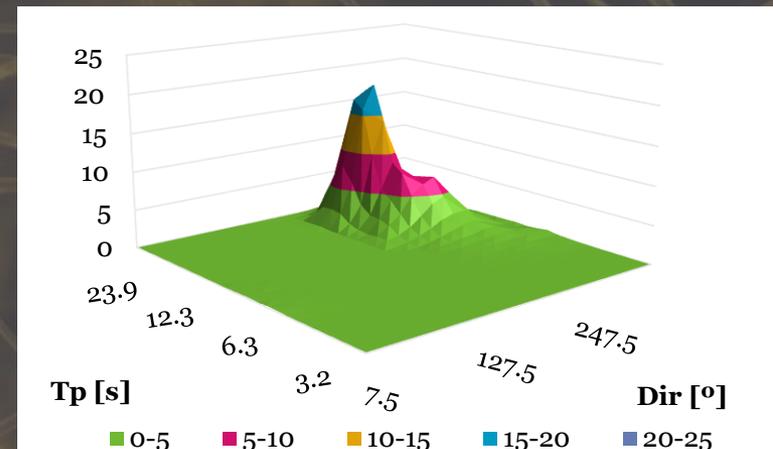
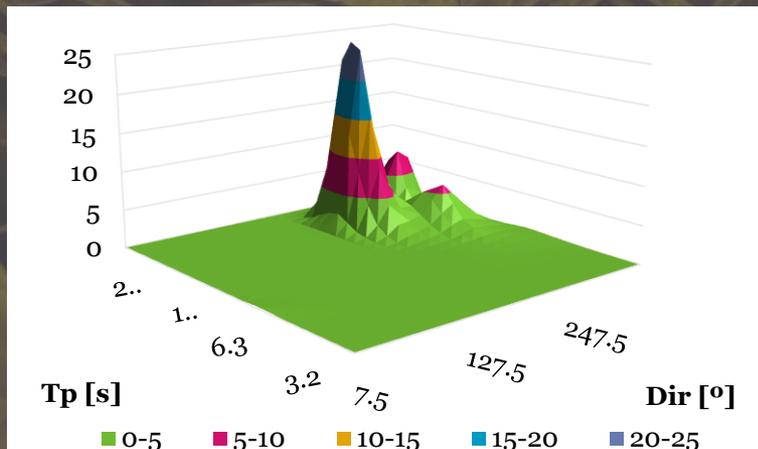
## Espectro Medido

## Espectro RNA

13 de Mayo del 2006 a las 06:00 horas

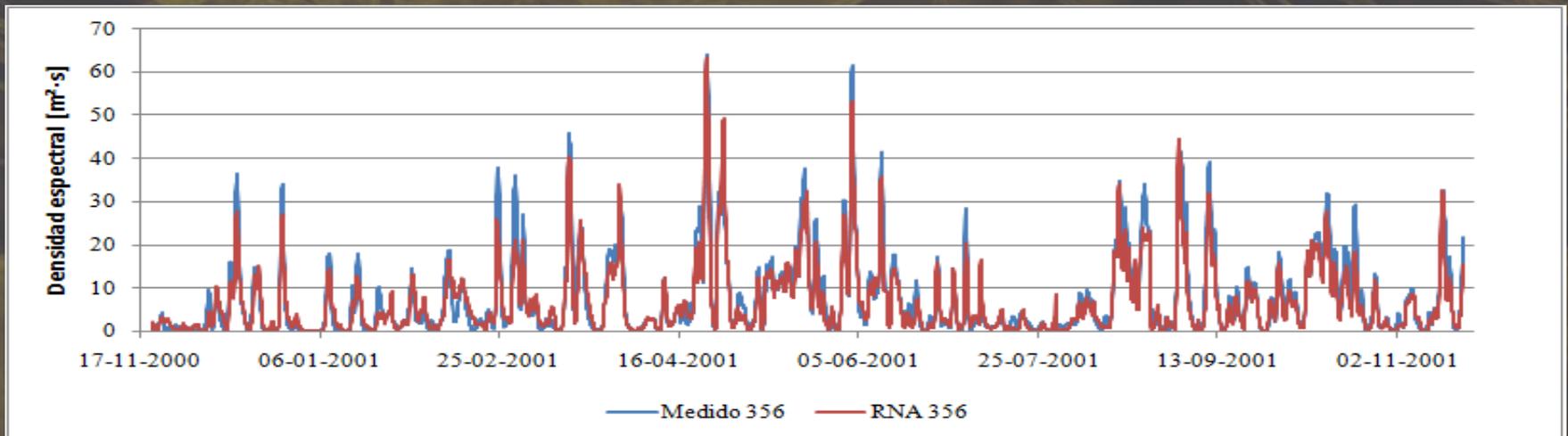


16 de Junio del 2006 a las 15:00 horas



# Validación Cruzada

- La correlación presentada por este caso es de 89.70% con un R2 de 81.07% lo que promediado con el resultado anterior (con el testeo para el último año), da un coeficiente de correlación de 90.67% con un R2 82.92%. Este valor representa a la validación cruzada, de lo que se concluye que la red es capaz de generalizar no importando el orden de los set de entrenamiento y testeo.



# Resultados Metodología JONSWAP

- JONSWAP (JOint North Sea WAve Project) (Hasselmann **et al**, 1973).

$$E(f, \theta) = E(f)G(\theta|f)$$

$$E(f) = \beta_j H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp\left[-1.25(T_p f)^{-4}\right] \gamma^{\exp\left[-(T_p f - 1)^2 / 2\sigma^2\right]}$$

$$G(\theta|f) = G_0 \cos^{2s}\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

- Los espectros sintéticos generados de por la herramienta JONSWAP para el año de testeo se utiliza en esta investigación a modo de comparación con los resultados de la Red neuronal utilizada para este caso. Quedando finalmente una correlación de 80.28 % y un R2 de 64.45% con respecto al espectro medido y un RMS de 0.798  $m^2s$ .
- Comparando las redes neuronales obtienen una superioridad de más de un 10% en el coeficiente de ajuste, además de poder reproducir bimodalidades del oleaje. Además el RMS obtenido de JONSWAP fue de 0.798  $m^2s$  y de la RNA de 0.025  $m^2s$ .

---

# Conclusiones y Comentarios Finales

# Conclusiones y Comentarios Finales

---

- Se puede apreciar que la mayor acumulación de los errores se encuentra en torno a valores de RMS bajos lo que significa que las redes se ajustan bien a las necesidades de predicción o correlación con respecto a los valores medidos.
- Por los resultados obtenidos en la investigación es completamente factible caracterizar, predecir y correlacionar el oleaje por medio de las redes neuronales siempre y cuando se cuente con una data de oleaje aceptable, en términos de extensión temporal, para realizar los entrenamientos de la red.

---

¡GRACIAS!