

Proyecto apoyado por



# Evaluación de Metodologías de Transferencia Espectral y Cuantificación de la Potencia de Oleaje

Juan Carlos Domínguez V.  
Ingeniero de proyectos PUC

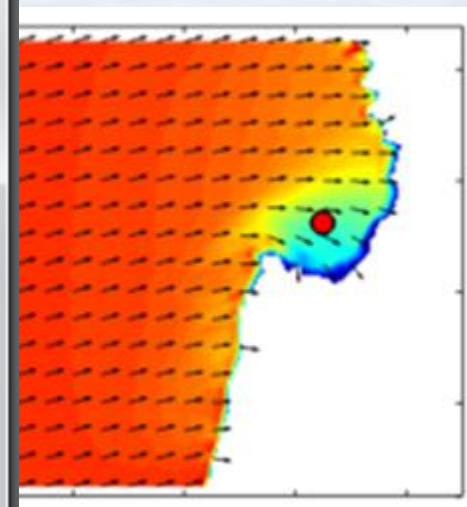
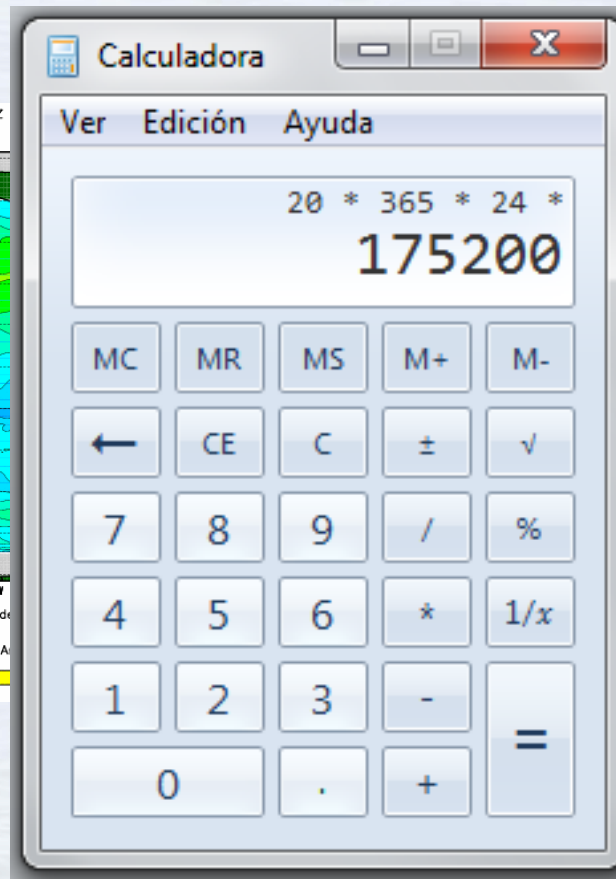
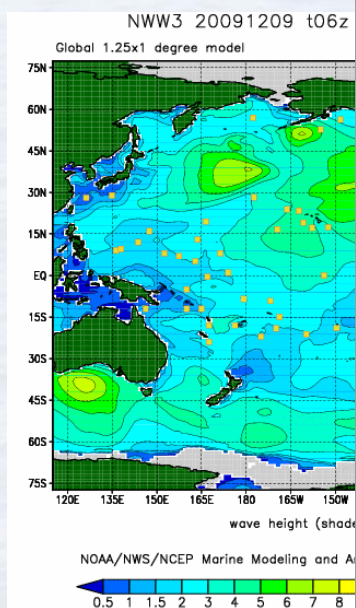
Proyecto Innova Corfo código 09CN14-5718  
“Catastro del recurso energético asociado a oleaje para el apoyo a la evaluación de proyectos de generación de energía Undimotriz”



# MOTIVACIÓN



Garrad Hassand (2009)







## Windows

An error has occurred. To continue:

Press Enter to return to Windows, or

Press CTRL+ALT+DEL to restart your computer. If you do this,  
you will lose any unsaved information in all open applications.

Error: 0E : 016F : BFF9B3D4

Press any key to continue \_

# SOLUCIÓN



*“Buscar una **metodología alternativa** que permita propagar una **gran cantidad de espectros** desde aguas profundas hacia sitios de interés en aguas someras a un **costo computacional bajo** y entregando **resultados confiables**”*

# SOLUCIÓN



*“Estas alternativas están basadas en la propagación de un **número limitado** de espectros de altura de ola unitaria que permiten luego la **reconstrucción** de la serie completa de aguas profundas por medio de métodos matemáticos **simples**”*



# Tipos de metodologías

## Reconstrucción Paramétrica

- Utilizada cuando se cuenta solo con parámetros resumen del oleaje
- El resultado también viene en forma de parámetros resumen
- Disponible en la literatura
- e.g. Fassardi (2008), Nicolau del Roure (2004)

## Reconstrucción Espectral

- **Método propuesto**
- Utilizado cuando se cuenta con información espectral bidimensional
- El resultado son espectros



# Reconstrucción Paramétrica

1. Construcción de espectros  $H_{m0} = 1$  m con distintos periodos y direcciones.
2. Propagación de los espectros en el modelo y obtención de los parámetros resumen en el sitio de interés.
3. Construcción y aplicación de coeficientes de transformación para la altura y la dirección

**Coefficiente de transformación de altura significativa.**

$$C_H = f(T_{ap}, D_{ap})$$



Periodo peak en Aguas Profundas

Dirección peak en Aguas Profundas

**Coefficiente de transformación de dirección.**

$$C_D = f(T_{ap}, D_{ap})$$

**Periodo Peak se mantiene**

$$T_{ap} = T_{as}$$

# Reconstrucción Paramétrica

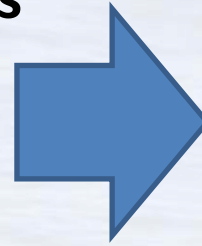
Ejemplo

**Aguas Profundas**

$H_s = 2 \text{ m}$

$T_p = 15 \text{ s}$

$D_p = 250^\circ$



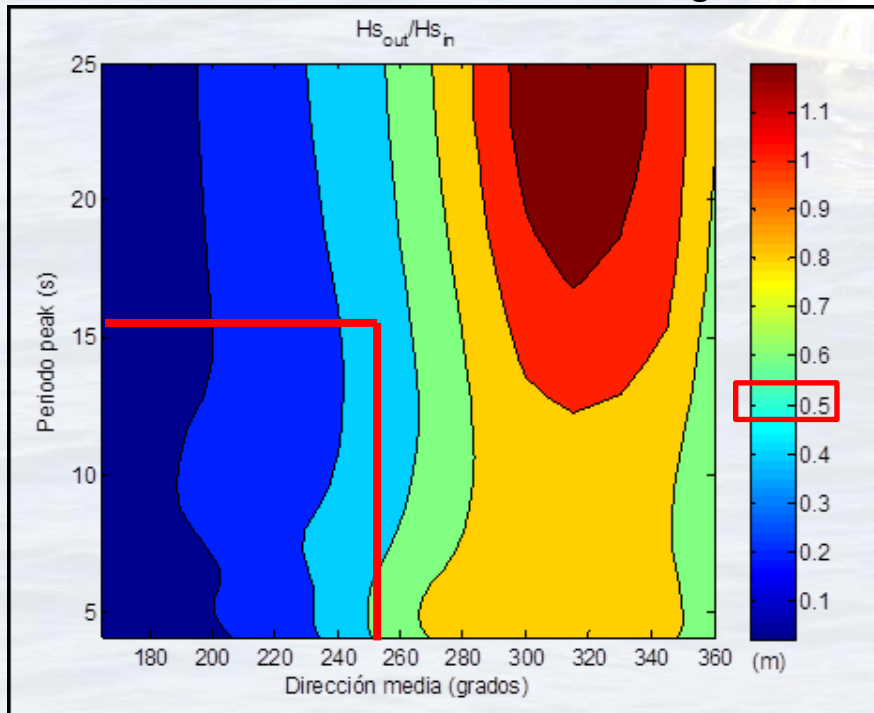
**Aguas Someras**

$H_s = 1 \text{ m}$

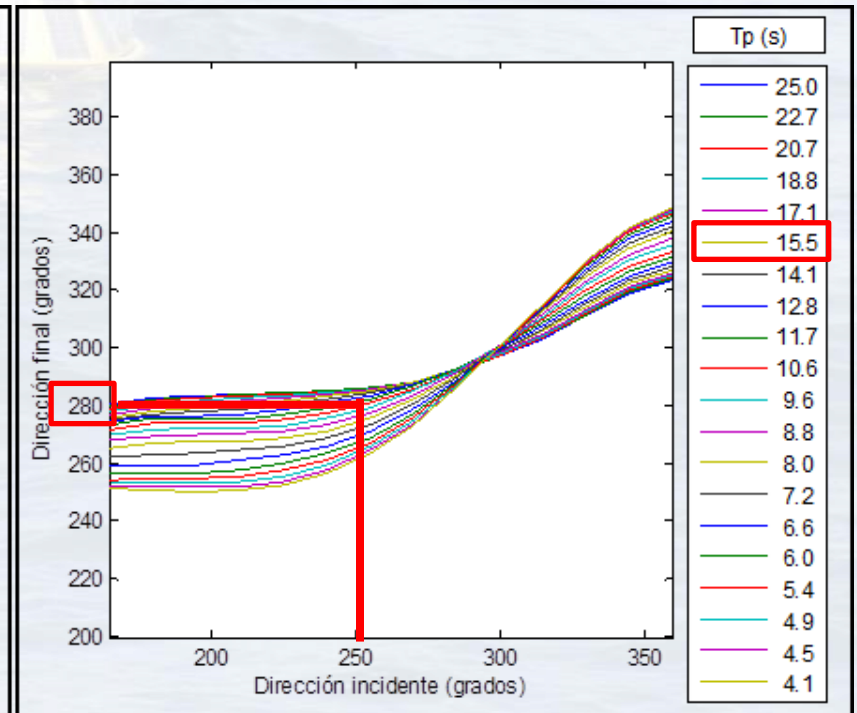
$T_p = 15 \text{ s}$

$D_p = 280^\circ$

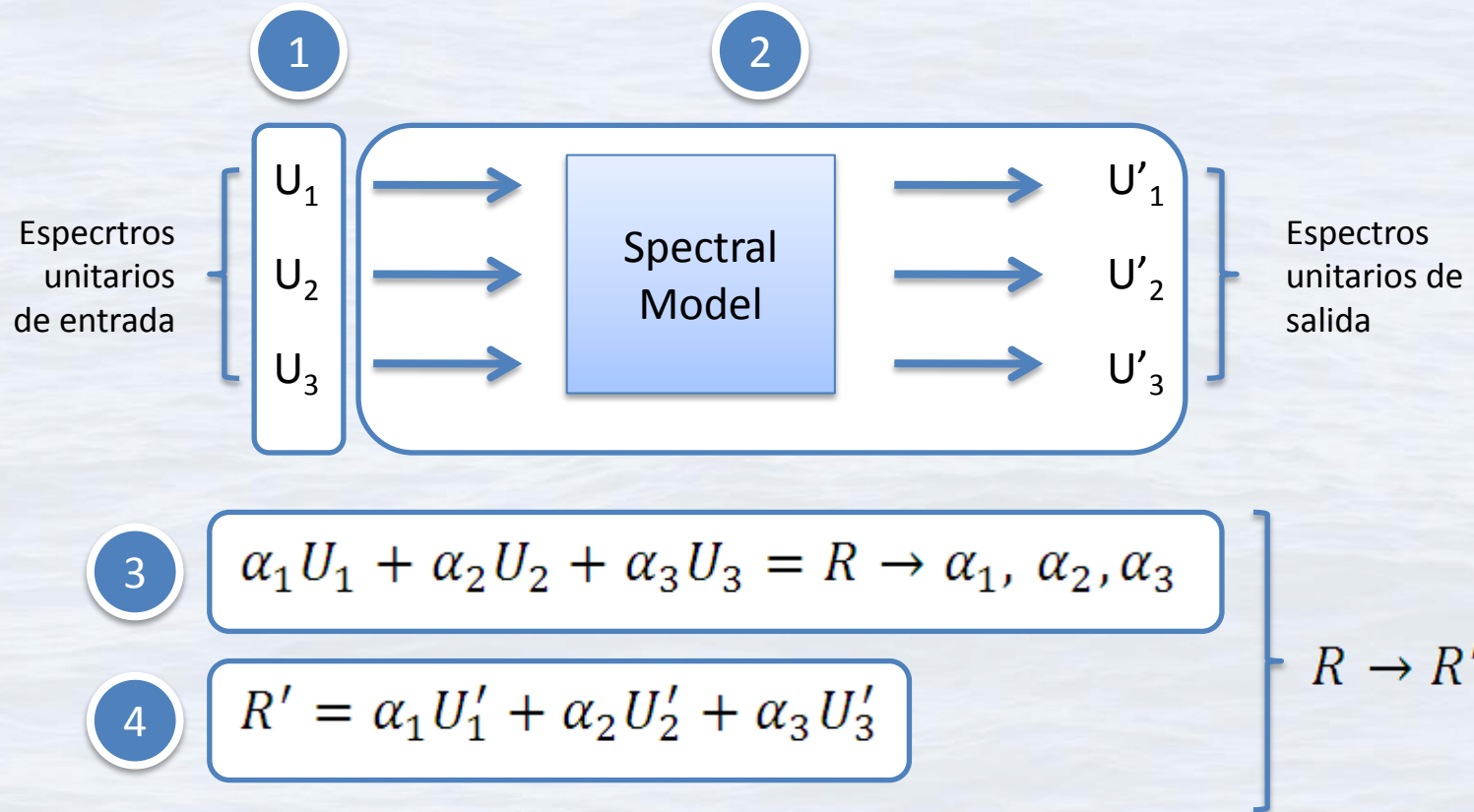
Coefficiente de transformación de altura significativa.



Coefficiente de transformación de dirección.



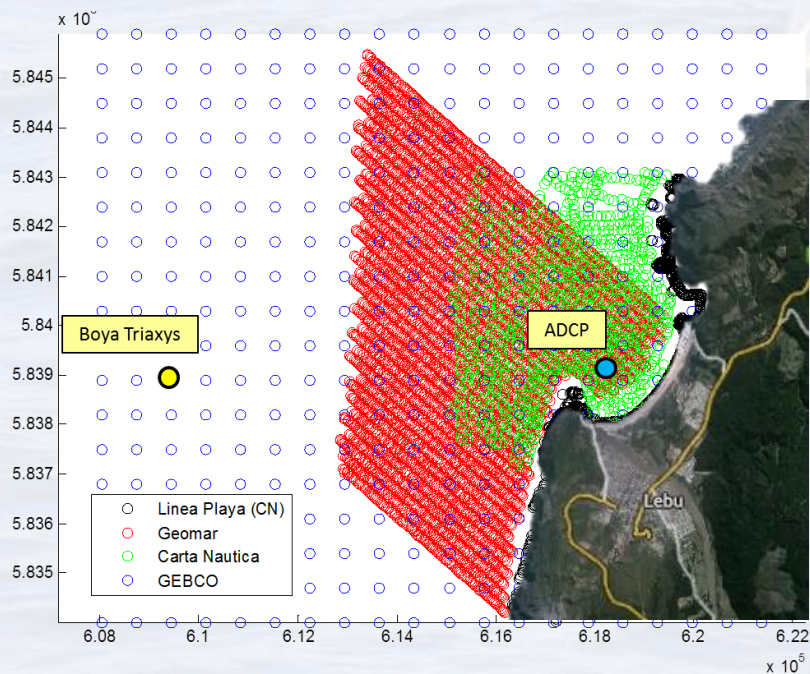
# Reconstrucción Espectral



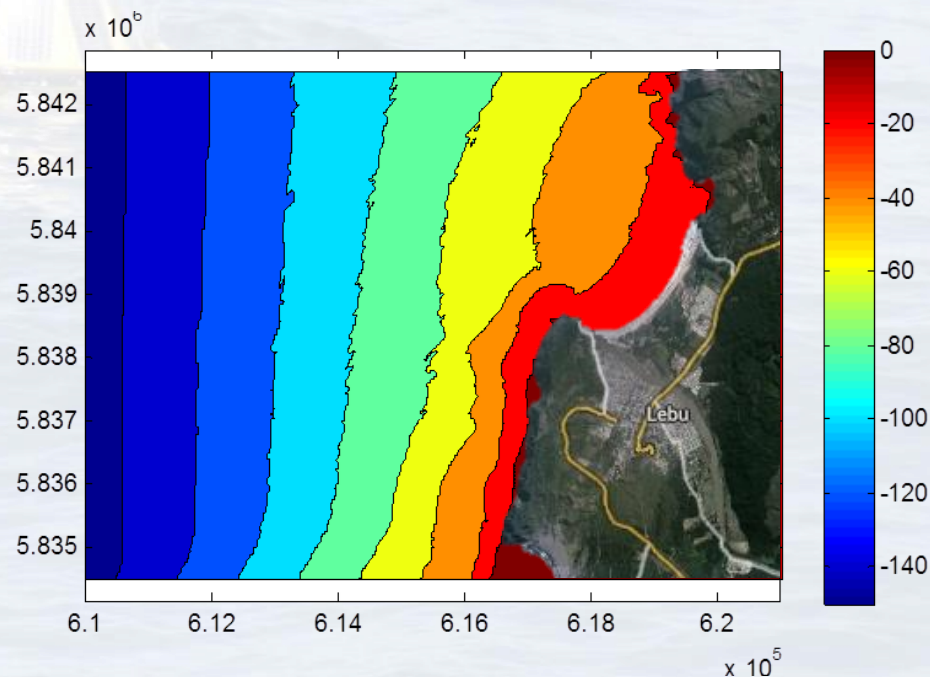
# MODELACIÓN

## □ Batimetría

Fuente de datos



Batimetría final





# MODELACIÓN

## □ Construcción de espectros unitarios

- Espectros tipo JONSWAP
- Direcciones cada 15° entre los 165° y los 360°
- Frecuencias peak entre 0.04 Hz y 0.25 Hz espaciadas logarítmicamente de la forma:  
$$f(i + 1) = f(i) * 1,1$$
- Total: 20 frecuencias x 14 direcciones = 280 espectros

# MODELACIÓN

## □ Configuración de la simulación

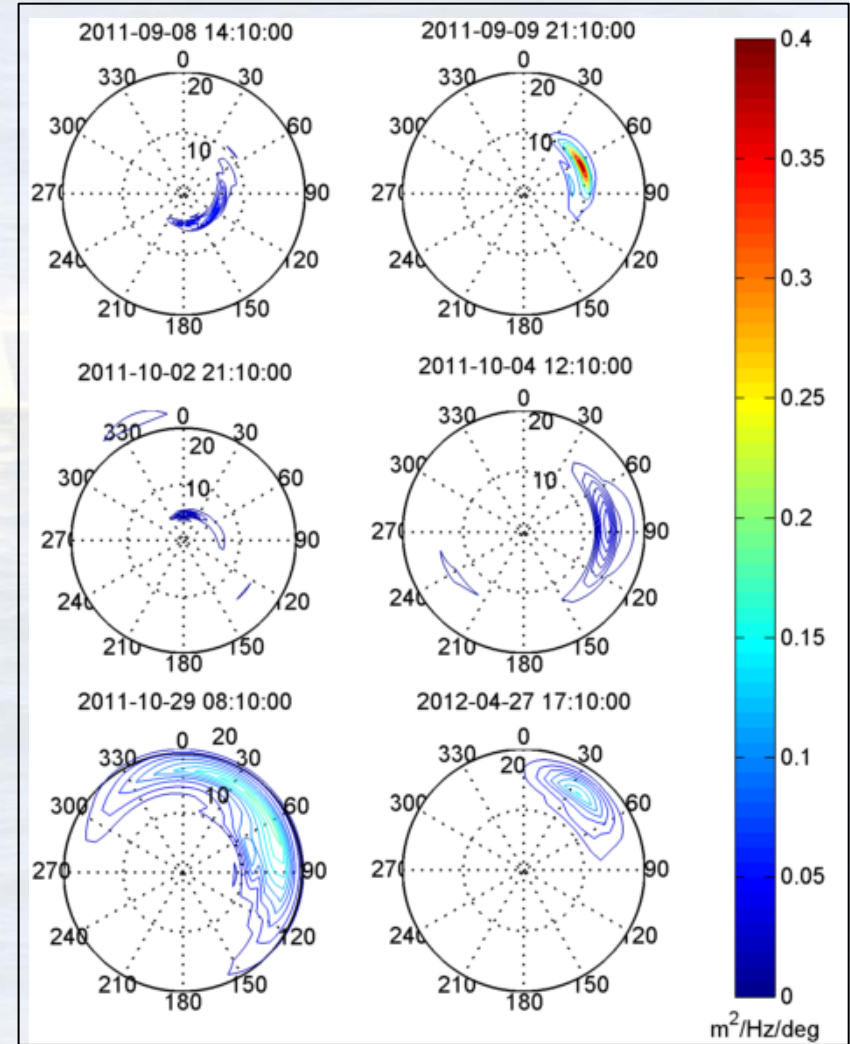
- Modelo de propagación espectral SWAN (TU Delft)
- Resolución espacial: grilla regular 50 m x 50 m
- Resolución espectral
  - Frecuencias entre 0.04 Hz y 1 Hz espaciadas de la forma  $f(i + 1) = f(i) * 1,1$
  - Direcciones cada 3° entre los 180° y los 360°
- Condición de borde aplicada en los bordes N, S y O
- Procesos físicos adicionales considerados: whitecapping y rompimiento por fondo

# MODELACIÓN

## ☐ Selección de espectros

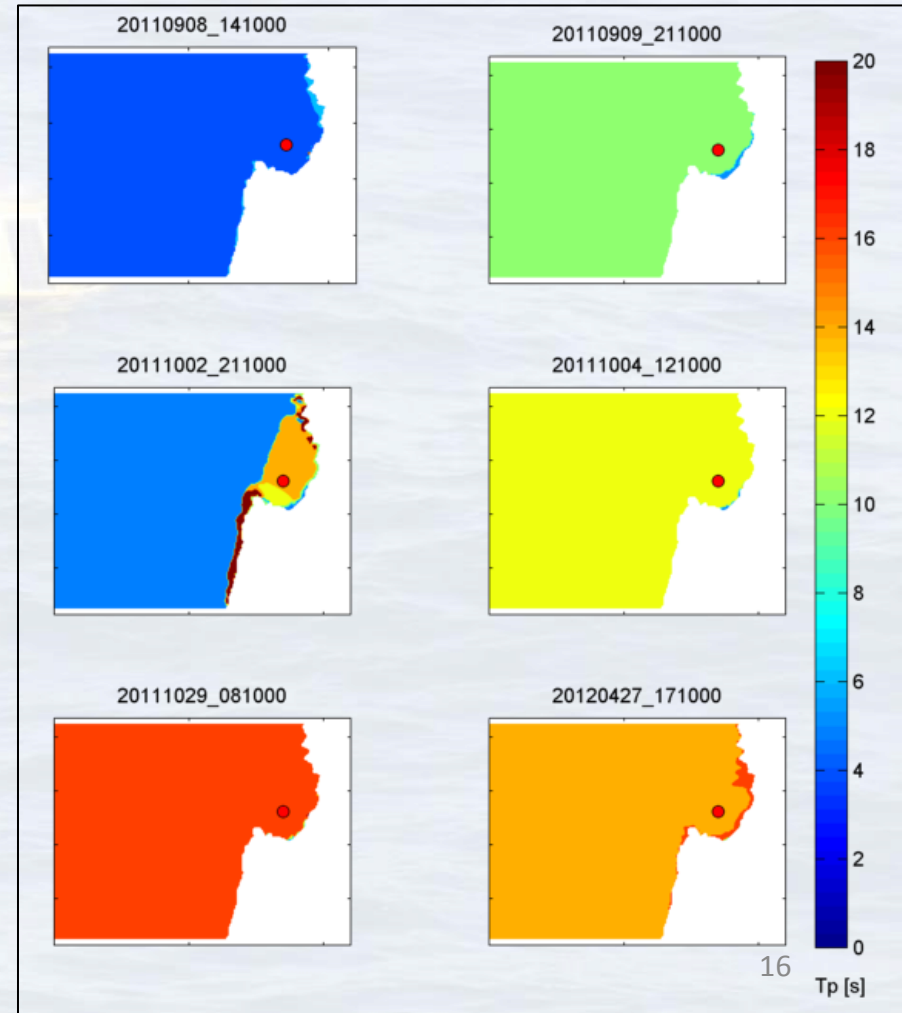
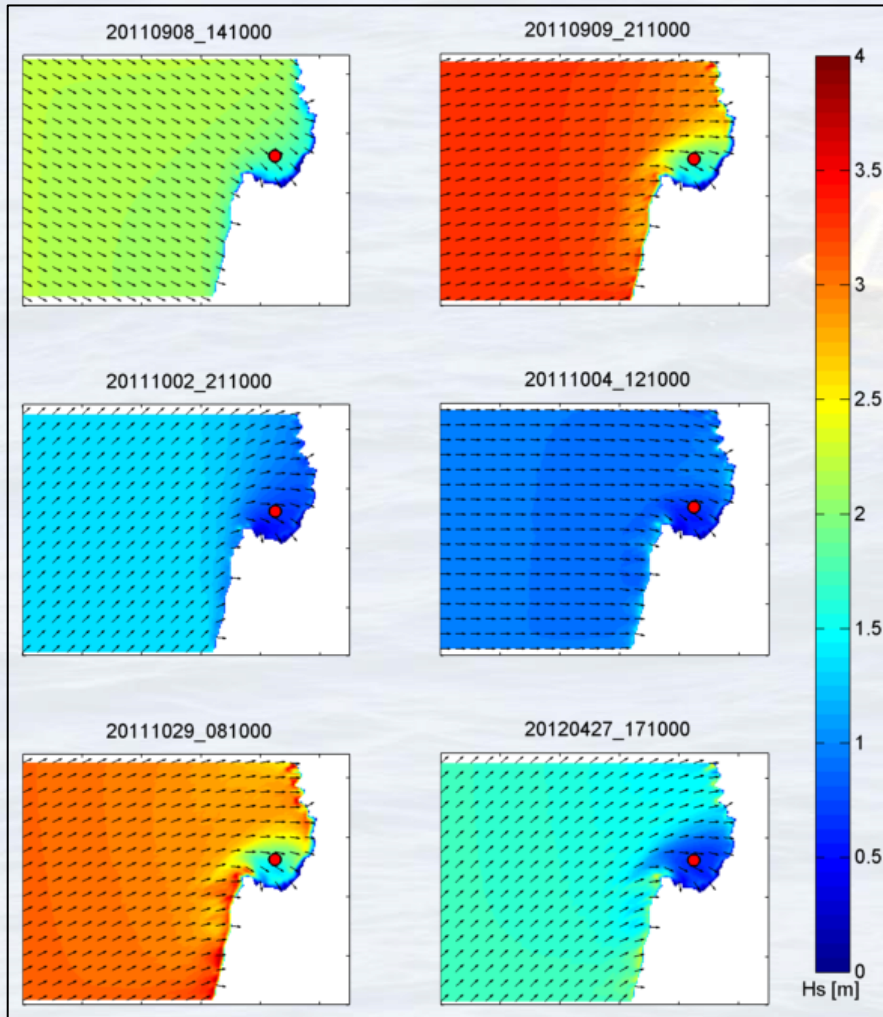
*Maxium Dissimilarity Algorithm (MDA)*

$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	MWD (grad)
2.50	5.1	314
3.37	10.5	253
1.65	5.0	204
1.12	13.3	282
3.44	16.7	230
1.75	15.4	225



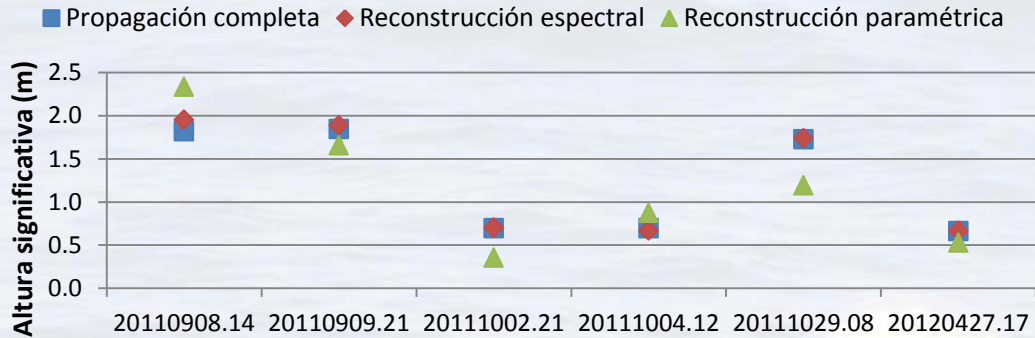
# MODELACIÓN

## ☐ Resultados de la propagación





# Comparación de Métodos



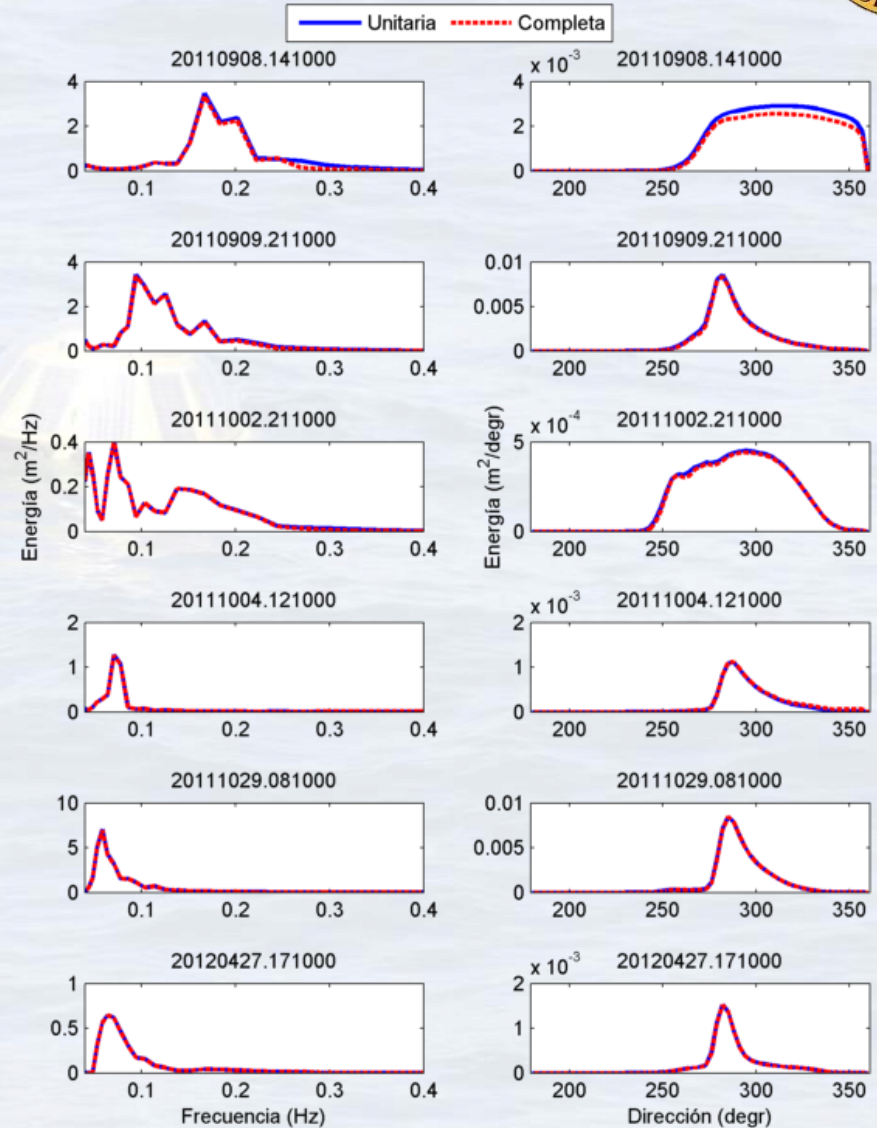
# Comparación de Métodos

CASO	Altura significativa (m)		Periodo peak (s)		Dirección media (grados)	
	Espectral	Paramétrica	Espectral	Paramétrica	Espectral	Paramétrica
20110908.14	0.13	0.51	0.0	0.0	0.1	1.8
20110909.21	0.04	-0.19	0.0	0.0	-0.3	-8.7
20111002.21	0.01	-0.34	0.0	-9.2	-0.4	-38.1
20111004.12	-0.03	0.18	0.0	0.0	-2.0	-6.8
20111029.08	0.01	-0.54	0.0	0.0	-0.2	-9.1
20120427.17	0.00	-0.13	0.0	0.0	0.0	-7.1
<b>Bias</b>	<b>0.03</b>	<b>-0.09</b>	<b>0.0</b>	<b>-1.5</b>	<b>-0.5</b>	<b>-11.3</b>
<b>ECM</b>	<b>0.06</b>	<b>0.35</b>	<b>0.0</b>	<b>3.7</b>	<b>0.8</b>	<b>16.9</b>

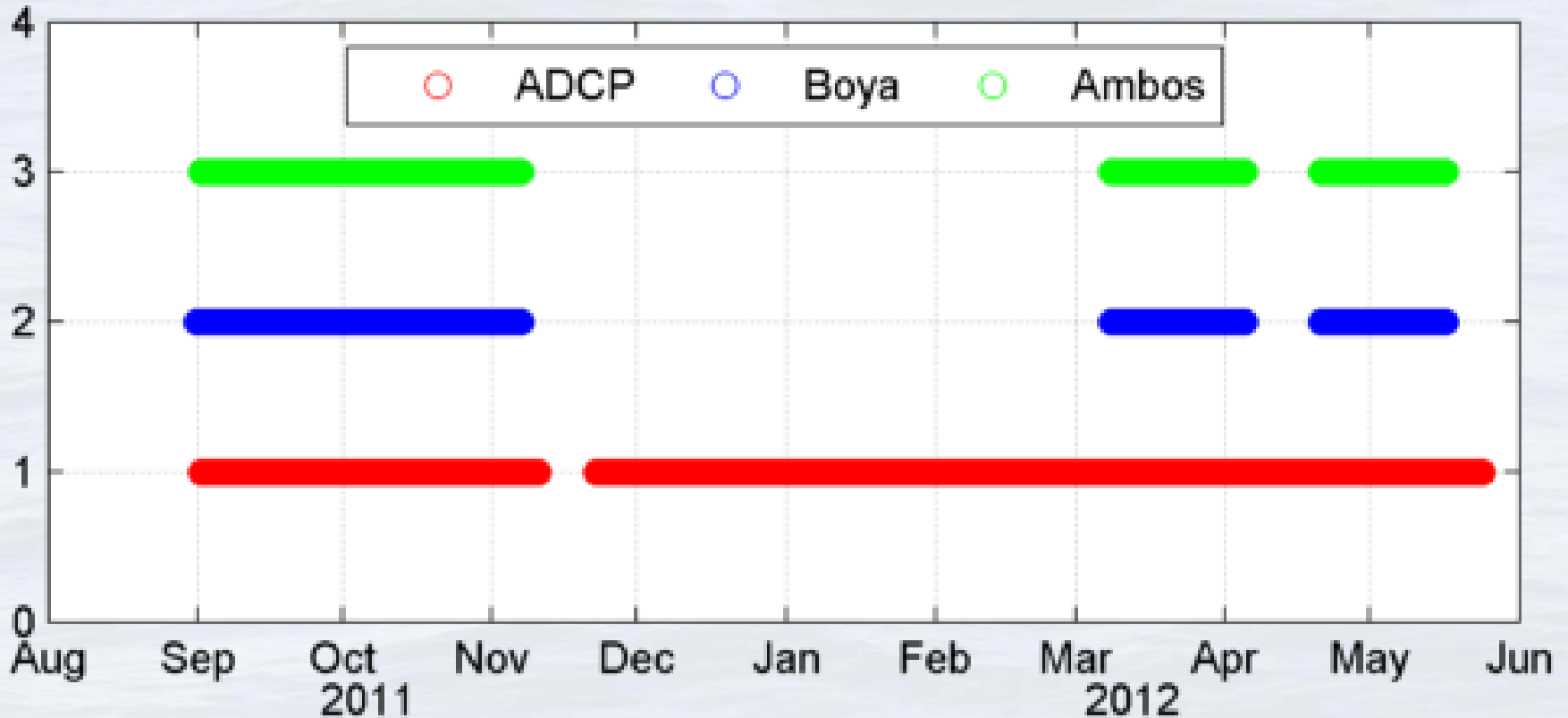
# Comparación de Métodos

## Comparación de espectros

*“El método propuesto es capaz de representar adecuadamente la transformación de los espectros, no presentando diferencias con la propagación espectral completa en el modelo”*

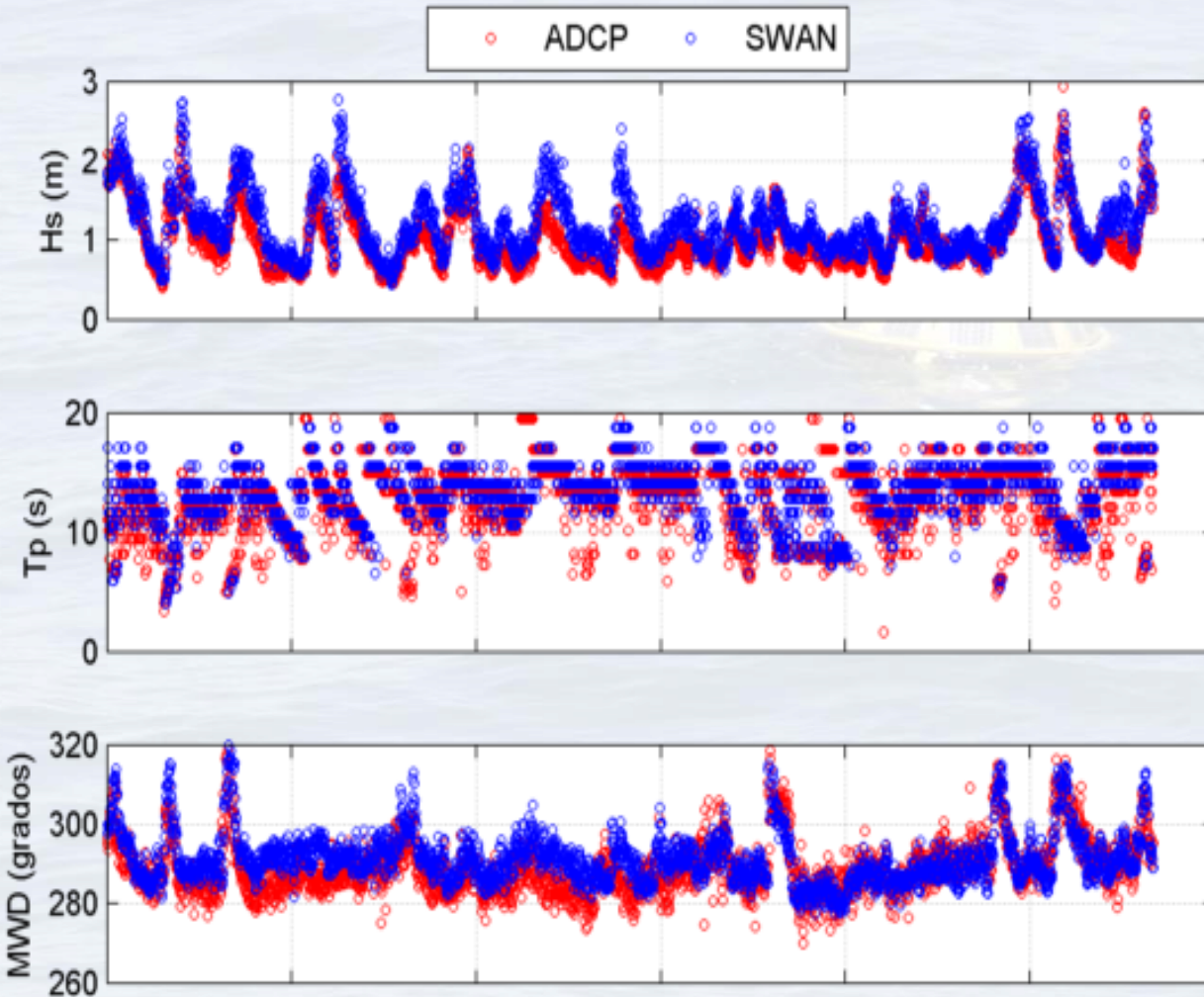


# APLICACIÓN



≈ 4 meses de mediciones simultáneas

# APLICACIÓN



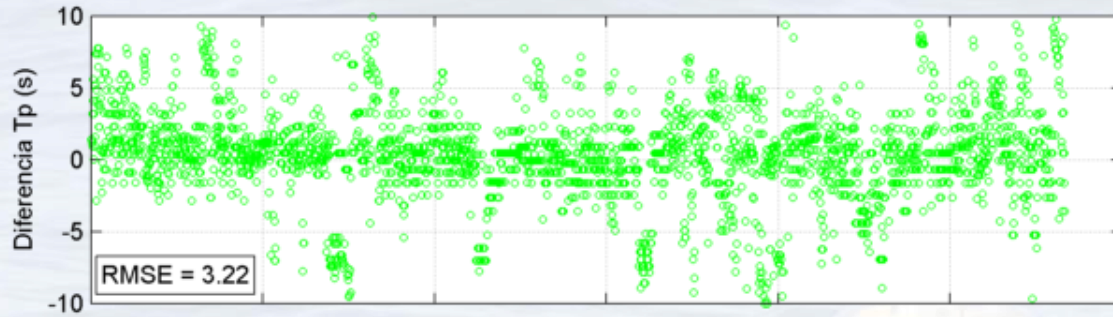
$$\text{Bias} = \frac{1}{N} \sum_N (Y_n - X_n)$$

$$\text{ECM} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_N (X_n - Y_n)^2}$$

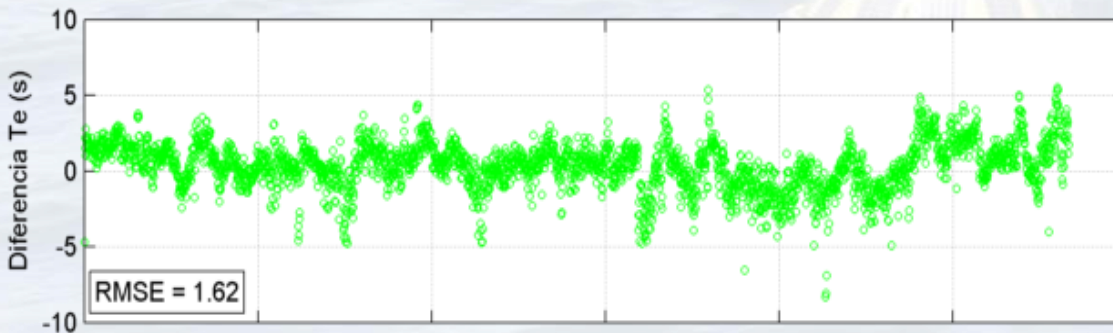
$$\text{MPI} = 1 - \frac{\text{RMSE}}{\text{RMSC}}$$

	Hs (m)	Tp (s)	MWD (grad)
Bias	0.19	0.89	2.33
ECM	0.30	3.18	5.94
MPI	0.82	0.01	0.89

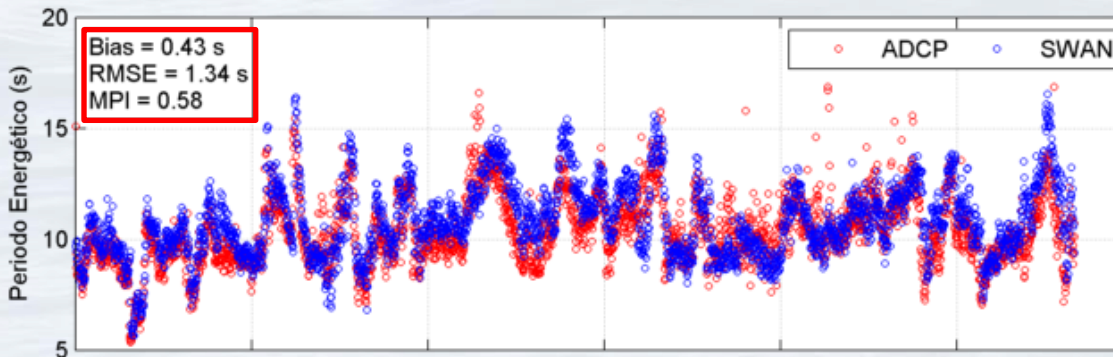
$$T_e = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad m_n = \iint f^n E(f, \theta) df d\theta$$



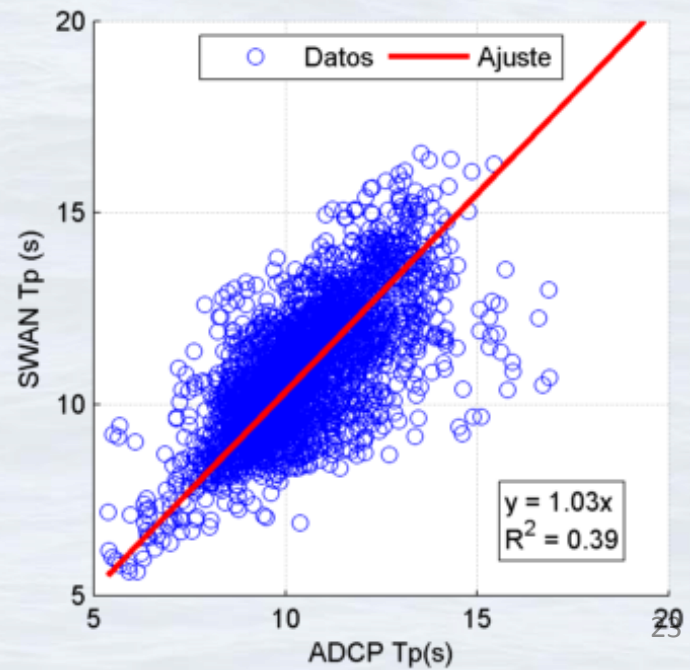
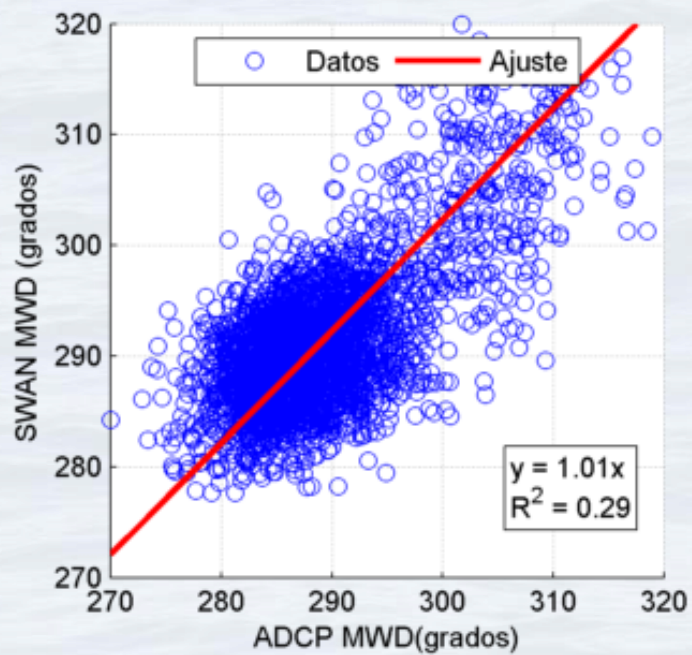
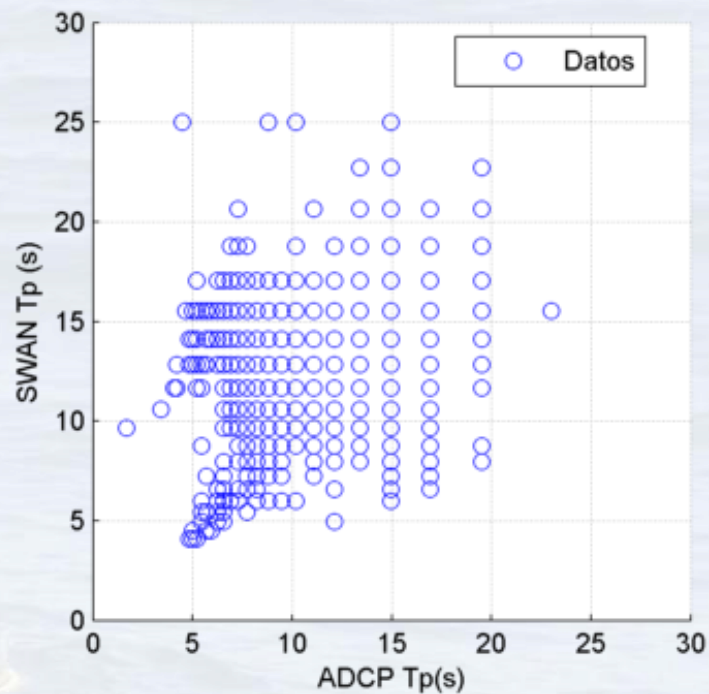
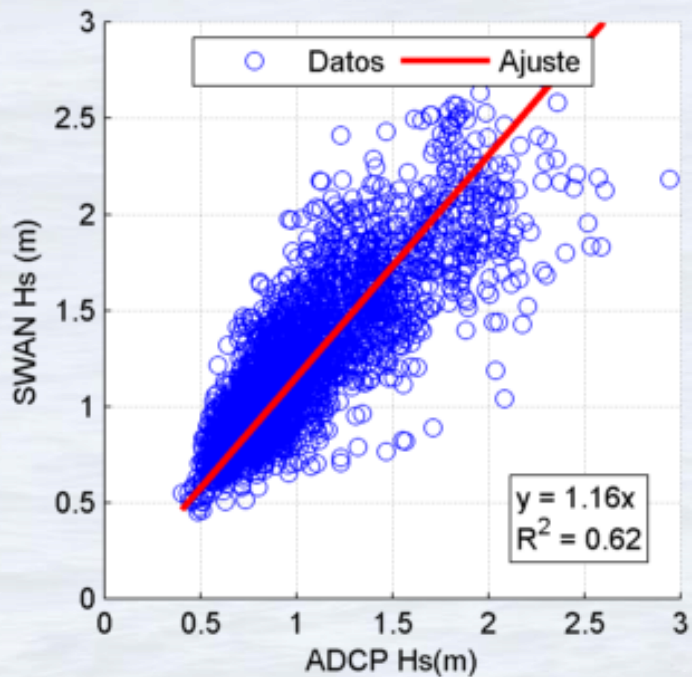
Diferencia entre **Periodo Peak** medido en la **Boya** y en el **ADCP**



Diferencia entre **Periodo Energético** medido en la **Boya** y en el **ADCP**



Comparación de **Periodo Energético** entre resultados de la **modelación** y las **mediciones**



# Cálculo de Potencia

$$P = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} E(f, \theta) C_g(f, h) df d\theta \quad \leftarrow \quad \text{A partir de un espectro}$$

$$P = \frac{1}{8} \rho g H_{rms}^2 C_g \quad \leftarrow \quad \text{A partir de parámetros resumen}$$

$$H_{rms} = \frac{H_s}{1.416}$$

Goda  
(2000)

$$T_e = (0.8255 + 0.03852\gamma - 0.005537\gamma^2 + 0.0003154\gamma^3) T_p$$

Beels et al  
(2007)

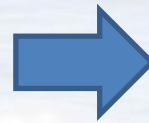
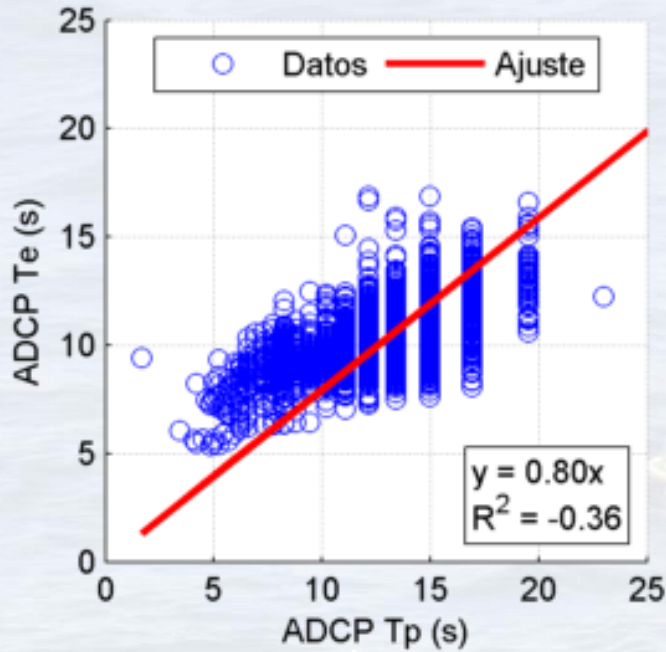
$$T_e = 0.9 T_p$$

$T_p$ (s)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\gamma$	3.3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8

Smith et  
al.(2001)



# Cálculo de potencia



$$T_e = 0,8 T_p$$



Buscar k

$$T_e = k * T_p$$



Calcular  
ECM

Calcular  
potencia



$$T_e = 0,73 T_p$$

# Cálculo de potencia



Fórmula

$$T_e = 0,9 T_p$$

$$ECM = 1,48 \text{ kW/m}$$

Nuestra única opción

Ajuste de datos

$$T_e = 0,8 T_p$$

$$ECM = 1,24 \text{ kW/m}$$

Minimizando el error en la potencia

$$T_e = 0,73 T_p$$

$$ECM = 1,16 \text{ kW/m}$$

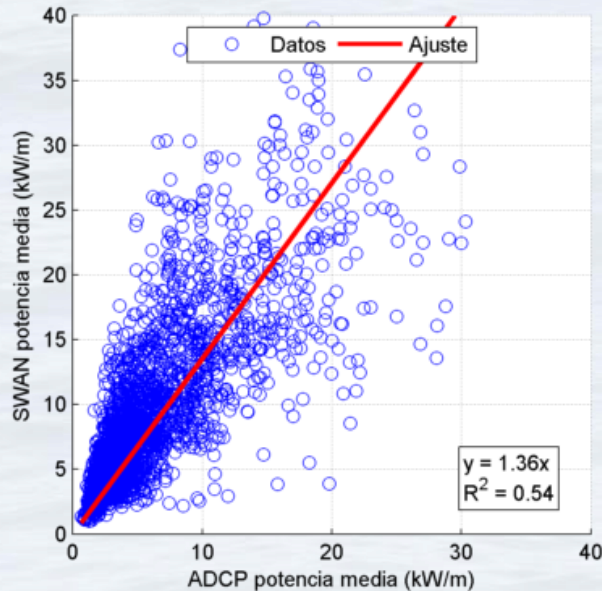
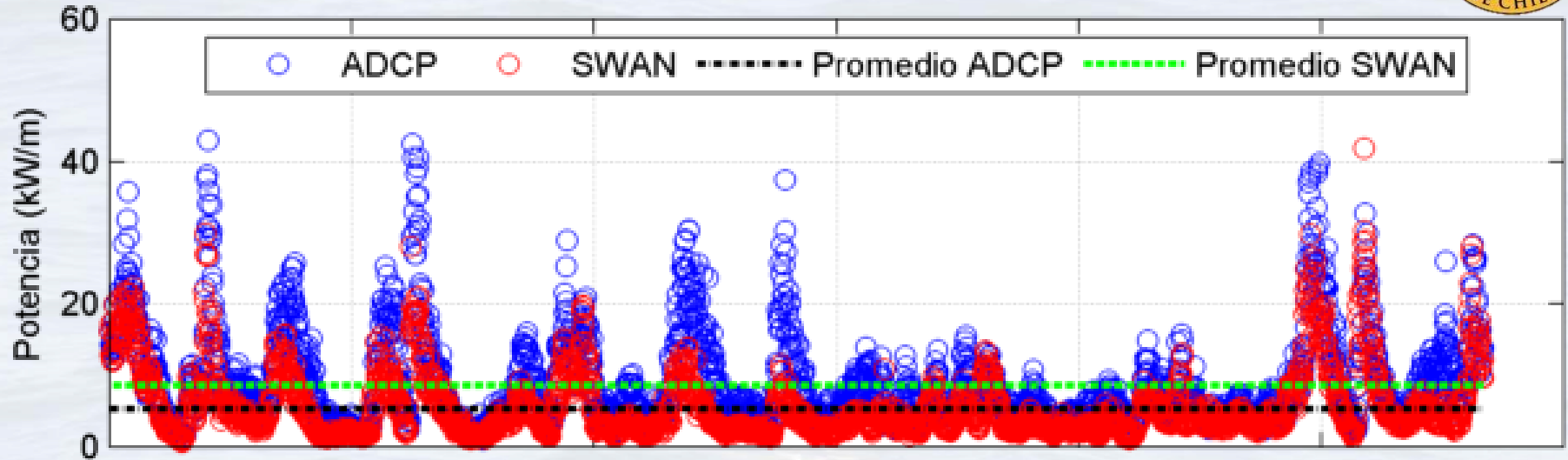
Calculando  $T_e$  del espectro

$$T_e = \frac{m_{-1}}{m_0}$$

$$ECM = 0,96 \text{ kW/m}$$

Generalmente no está disponible

# Cálculo de potencia

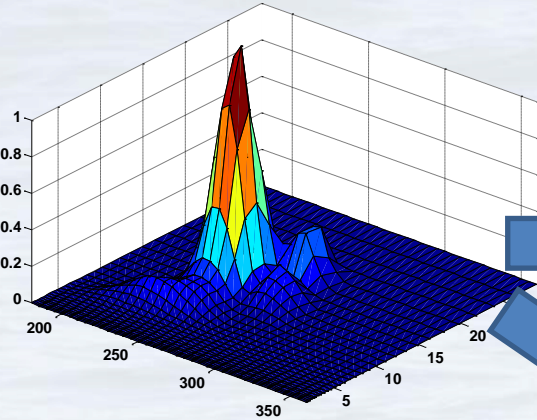


Bias = 3,06 kW/m

ECM = 5,08 kW/m

**Sobreestimación** de la potencia = 36%

# Cálculo de potencia



$$P = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} E(f, \theta) C_g(f, h) df d\theta$$



Significant wave height ( $H_{sig}$ , m)	Power period ( $T_{pow}$ , s)																
	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0
0.5	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle
1.0	idle	22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21	idle	idle	idle
1.5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37	33
2.0	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	116	104	93	83	74	66	59
2.5	89	138	180	212	231	238	238	230	216	199	181	163	146	130	116	103	92
3.0	129	198	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	167	149	132
3.5	-	270	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180
4.0	-	-	462	502	540	546	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237	213
4.5	-	-	544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	356	338	300	266
5.0	-	-	-	739	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348	328
5.5	-	-	-	750	750	750	750	750	737	667	658	586	530	496	446	395	355
6.0	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470	415
6.5	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512	481
7.0	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	676	613	584	525
7.5	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	686	622	593
8.0	-	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	690	625



# CONCLUSIONES

- Los métodos alternativos de propagación logran reducir considerablemente el número de simulaciones, e.g. de 175.200 a 280 casos.
- El método de reconstrucción paramétrico es adecuado cuando se cuenta sólo con parámetros resumen. Gran parte del error viene dado por la simplificación del espectro.
- El método propuesto de reconstrucción espectral tiene excelentes resultados tanto en los parámetros resumen como en la forma del espectro.



# CONCLUSIONES

- El cálculo de la potencia a partir de los parámetros resumen puede inducir errores. Parte de este error se debe a la aproximación del periodo energético a partir del periodo peak.
- El resultado de las simulaciones en Lebu arroja que el modelo está sobreestimando en un 36% la potencia, lo cual no es bueno para proyectos de catastro de energía. Esta sobreestimación se explica principalmente por la sobreestimación en la altura de ola significativa.
- El cálculo de la potencia utilizando las ecuaciones clásicas puede ser engañosa. Lo mejor es tener disponible la matriz de poder del dispositivo.

Proyecto apoyado por



# Muchas Gracias

Juan Carlos Domínguez V. ([jcdoming@uc.cl](mailto:jcdoming@uc.cl))

