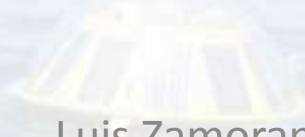


Proyecto apoyado por



# CIERRE DE PROYECTO. “Catastro del recurso energético asociado a oleaje para el apoyo a la evaluación de proyectos de generación de energía Undimotriz”



Luis Zamorano  
Gubler Otarolla  
Ignacio Beya  
Patricio Catalan

Proyecto Innova Corfo código 09CN14-5718

“



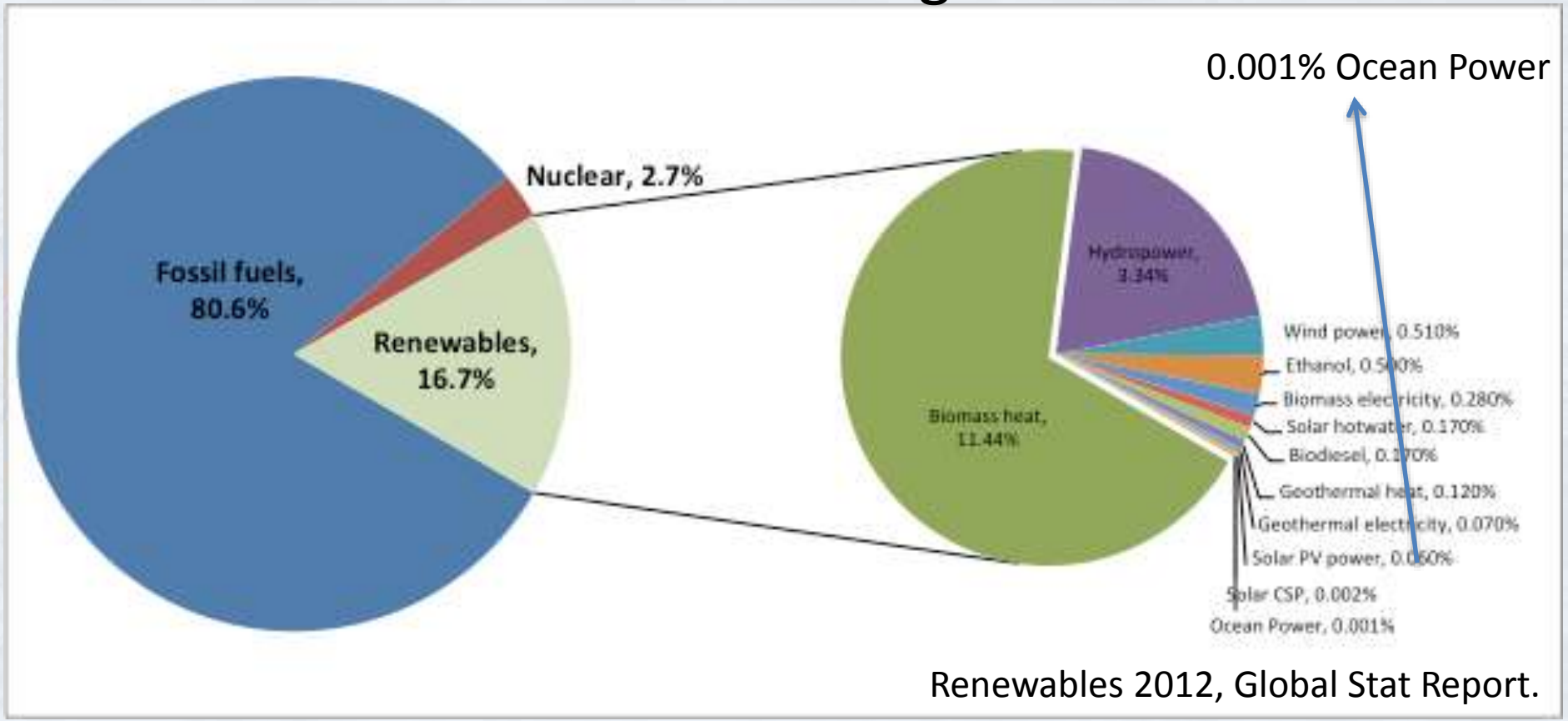


# TEMARIO

- Introducción a las Energías Marinas en el Mundo y en Chile.
- Objetivos, Logros y Productos.
- Aspectos Generales del Proyecto.
- Resultados Relevantes
- Conclusiones y Perspectivas Futuras.

# Energías Marinas en el Mundo y en Chile.

## Estado Mundial de las Energías Renovables.



Renewables 2012, Global Stat Report.

# Energías Marinas en el Mundo y en Chile.

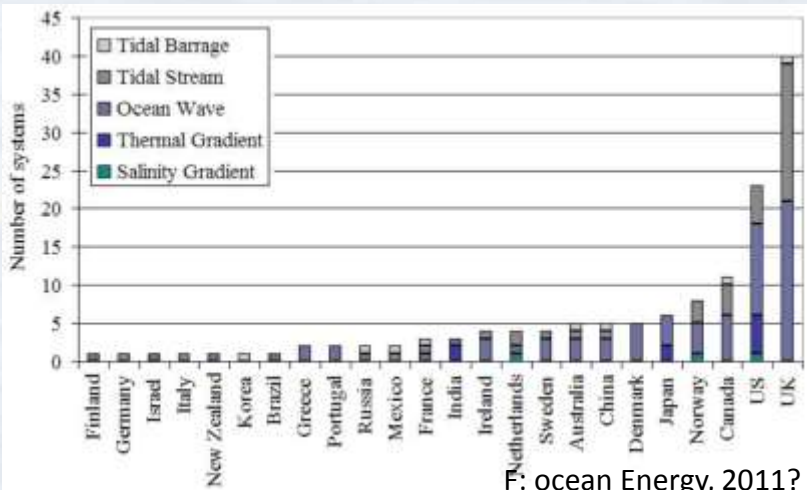
## Estado Actual - Dispositivos

- Primera Granja a Nivel Mundial:
  - 2008. En las costas de Portugal
  - Pelamis.

< 0.001%  
 (incluyendo mareas y oleaje)

- Actualmente Los países que cuentan con dispositivos a distinta escala son:

- Australia
- Escocia
- Inglaterra
- EEUU
- Japón
- Italia
- Rusia
- Otros (prototipos): Israel, Brazil, Irlanda, Canada, España, Dinamarca, Portugal, China, etc.



F: ocean Energy, 2011?



Oyster 800, Escocia.



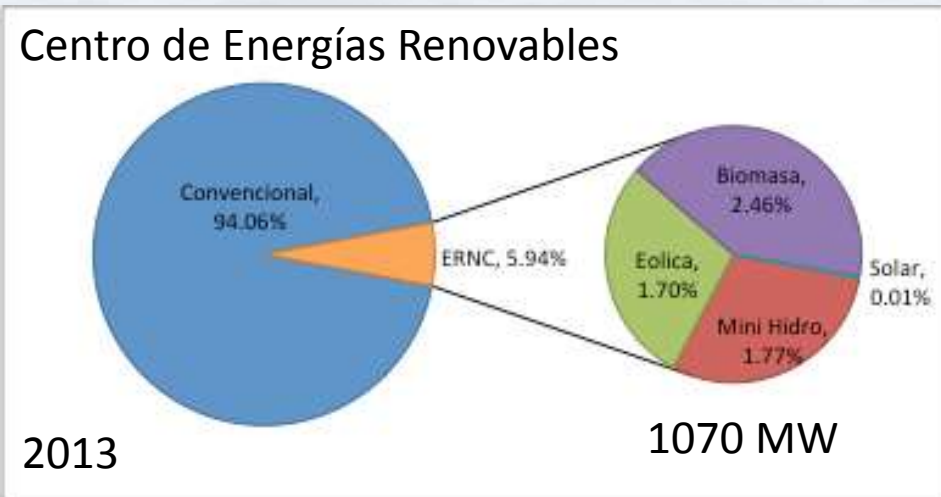
Oceanlinx, australia



Powerbuoy, Japón



# Energías Marinas en el Mundo y en Chile. Energías Renovables en Chile



6% vs 16%

Precios de la Energía en Chile:

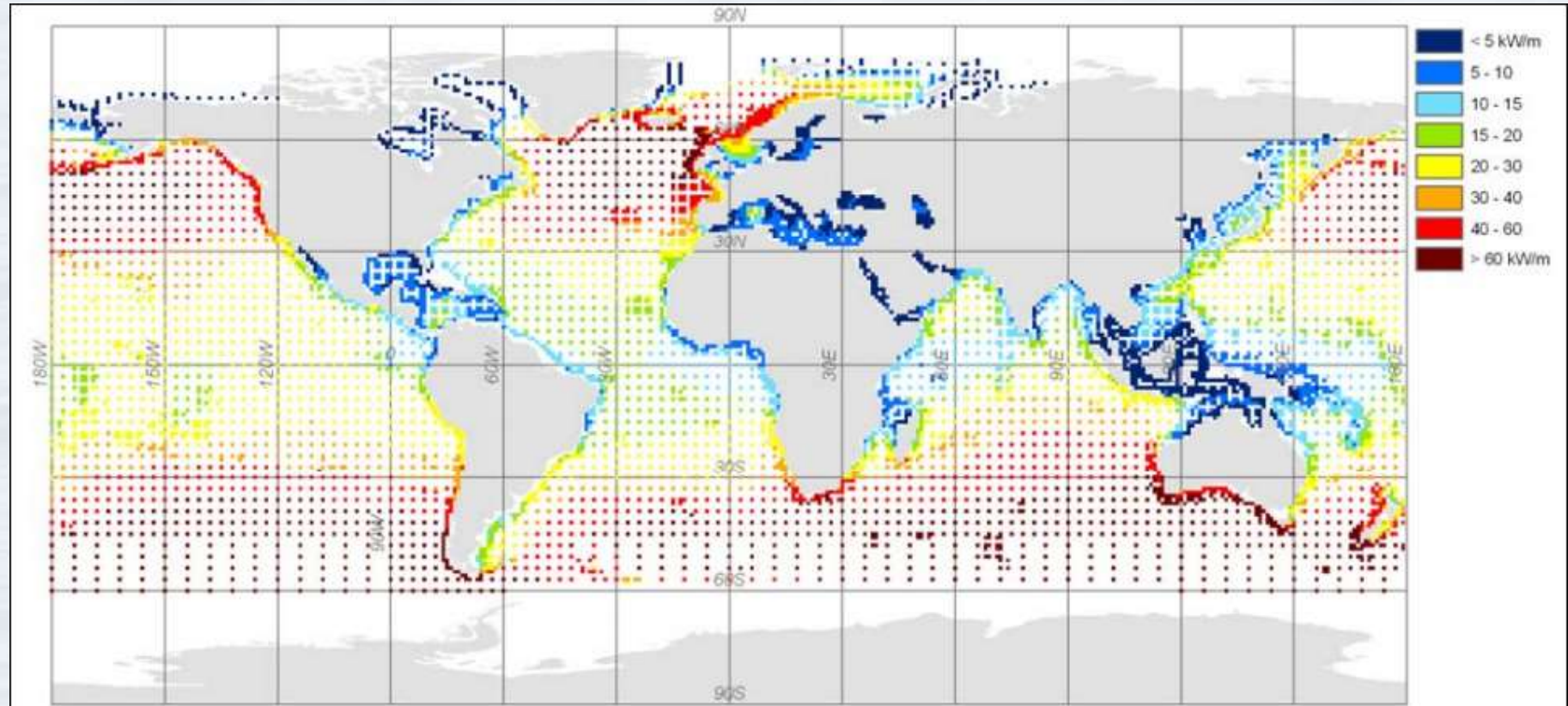
- Más caros que otros países.
- Dependencia extranjera.

La ley 20.257 (Vigente) de fomento a las Energías Renovables No Convencionales establece una meta de un **10% de ERNC al 2024.**

**Ley 20.698 (2013) -> establece un 20% de ERNC para el 2025.**

# Energías Marinas en el Mundo y en Chile.

## Catastro Mundial: Potencia media anual del Oleaje

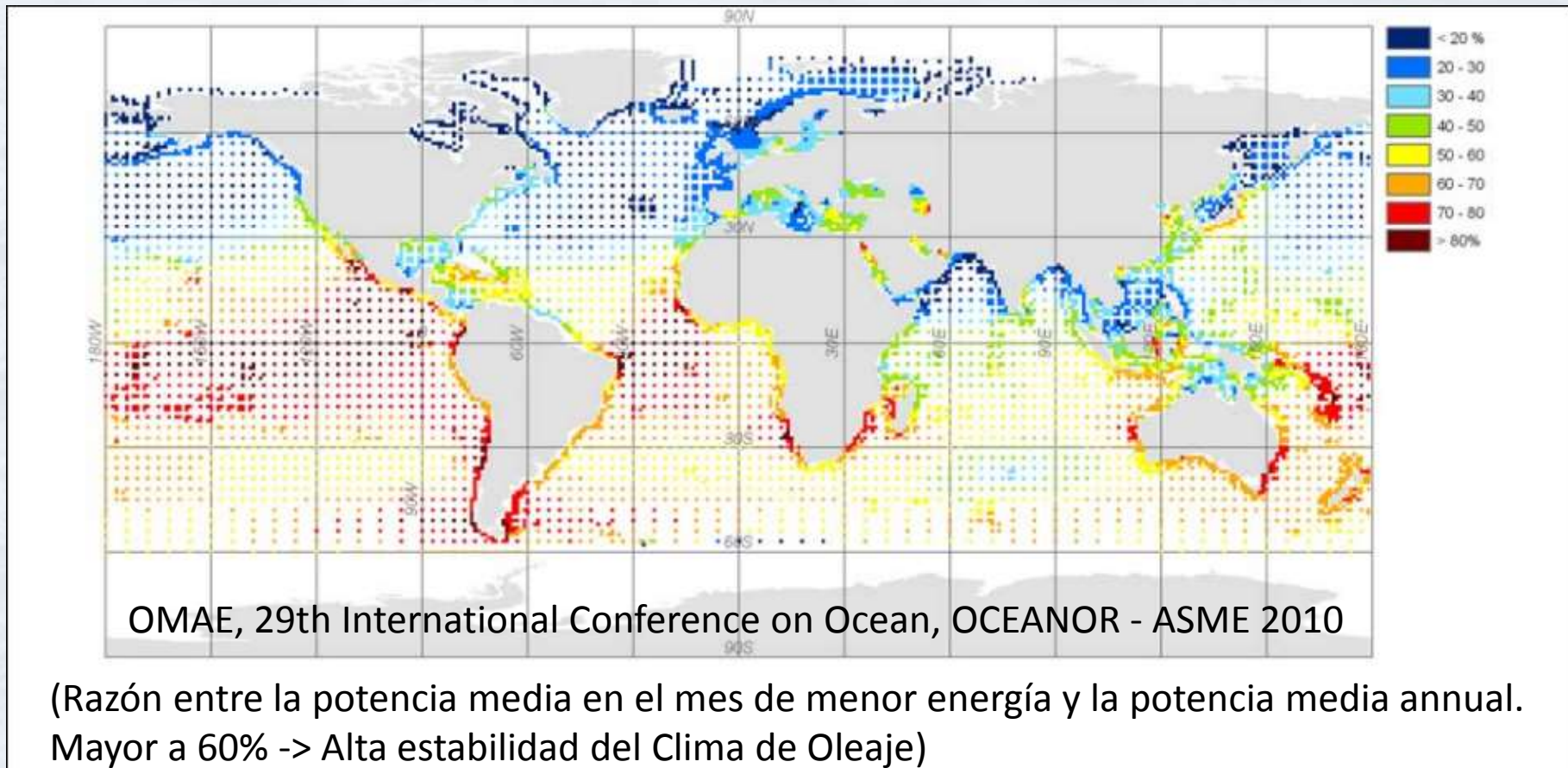


OMAE, 29th International Conference on Ocean, OCEANOR - ASME 2010

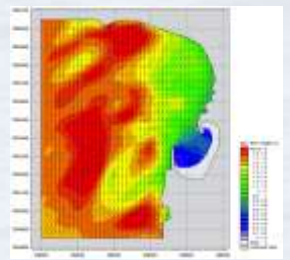


# Energías Marinas en el Mundo y en Chile.

## Distribución Estacional de la Energía del Oleaje



# Energías Marinas en el Mundo y en Chile. Sobre el Recurso Energético real (práctico).



### Recurso Teórico

- Modelo Números
- Dato Históricos
- Mediciones
- Profundidad

### Recurso Técnico

- Eficiencia de la tecnología
  - Espaciamento
  - E. Mecánica -> E. Eléctrica
- Capacidad de Planta
- Otras restricciones (perdidas de transmisión)

### Recurso Práctico

- Utilizable para la población
- Exclusión de áreas menores a 8 KW/m.
- Exclusión de Áreas remotas ( lejos del sistema interconectado central)
- Exclusión de Zonas Protejidas.

15% → 70%

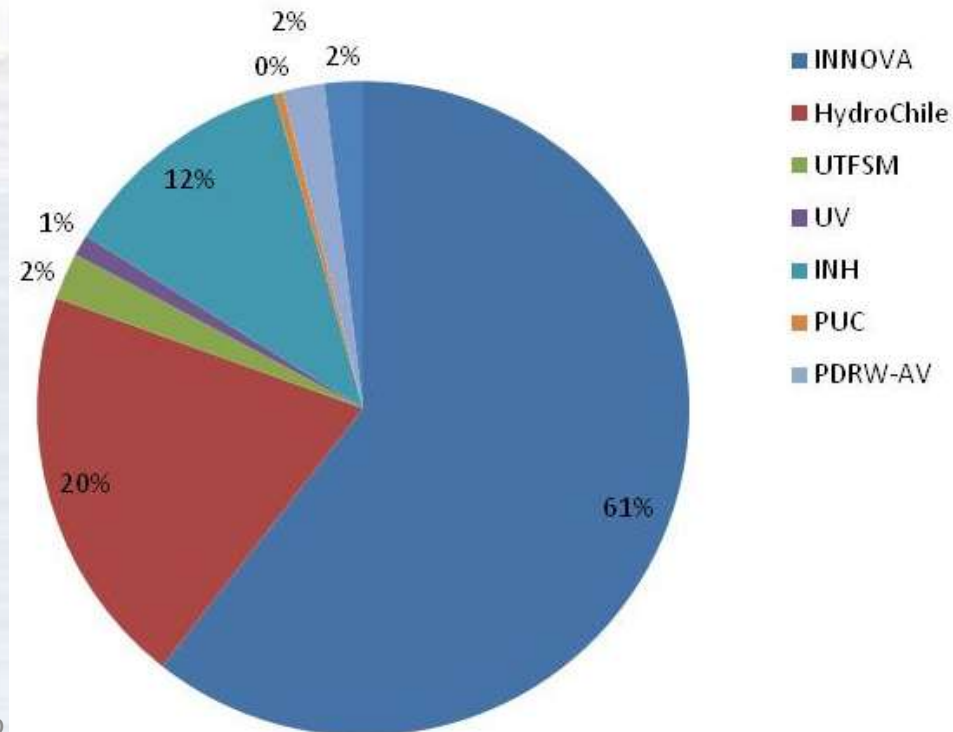
F: National Research council, 2011. EEUU



# Objetivos del proyecto

- Fortalecer el proceso de implementación de la energía Undimotriz:
  - Valoración del recurso Undimotriz (Teórico) disponible.
  - Información geo-espacial relevante para la inversión.
  - Estudio de dispositivos, condiciones de ingreso a mercado y aspectos ambientales.

**TOTAL = 743 MILLONES DE PESOS**



# • PRODUCTOS Y LOGROS GENERADOS

## – Mediciones

- **Mediciones de Oleaje Espectral en aguas intermedias** (150 m) durante más de 1 año (Casi 2 Años, en Curaumilla), 2 zonas.
- **Mediciones de Oleaje Espectral en aguas someras**, más de 29 mediciones con ADCP a lo largo de la Costa.
- **10 batimetrías exploratorias** en zonas costeras hasta el veril -100 (aprox. 230 km<sup>2</sup>).

# • PRODUCTOS Y LOGROS GENERADOS

## – Documentos técnicos Generados

- Metodología.
  - Verificación de técnicas de propagación.
  - Verificación de modelos (SWAN v/s MIKE 21 SW v/s STWAVE).
  - Calibración y validación de parámetros.
- Memorias de Titulación
  - Implicancia de las batimetría locales en modelos de oleaje.
  - Evaluación del clima de oleaje en Curaumilla.
  - Caracterización Estadística de Datos de Oleaje.
  - Redes Neuronales Aplicadas a la Predicción y Estimación de los parámetros de Oleaje.
  - Caracterización del recurso energético del oleaje en la zona centro-sur de Chile.
  - Caracterización de energía del oleaje utilizando selección de climas de oleaje y métodos de propagación calibrados.



## • PRODUCTOS Y LOGROS GENERADOS

### – Productos (Fichas)

- 8 Mapas que describen la zona Regional (V a X Región).
  - Potencia Media, percentiles, mediana.
- 11 Mapas de zonas altamente energéticas (detalle).
  - Potencia Media, percentiles, mediana.
  - Generación de rosas a distintas profundidades (20, 50 80 y 100).
  - Variabilidad Temporal, estacional y espacial.
  - Curvas de Excedencia de potencia
  - Matrices de potencia, energía dispersión, en puntos específicos.
  - Descripción de los fondos marinos



## • PRODUCTOS Y LOGROS GENERADOS

### – Estudios Complementarios

- Estado del Arte Dispositivos Undimotriz.
- Condiciones de Ingreso al Mercado.
- Evaluación Ambiental en proyectos de energía Undimotriz.

### – Seminarios

- Participación en seminarios internacionales relacionados con la materia.
- Presentaciones en Congreso (p.e Congreso Nacional de Hidráulica).
- Publicaciones científicas.



## • PRODUCTOS Y LOGROS GENERADOS

### – Otros

- Experiencia en Instalación, seteo y post-proceso de datos de Boyas Triaxis Y ADCP.
- Generación de Algoritmos (Toolbox) para el pre y post proceso de Datos.
- Adquisición de Instrumental para futuros proyectos.
- Consolidación de Grupo de Trabajo y Formación de Capital Humano.
- Base de Datos de Oleaje para investigación.



# PROYECTO UNDIMOTRIZ. Catastro entre la V y la XIV Región. FORTALEZAS

## TRABAJOS DE CAMPO

- Mediciones de Aguas Profundas (intermedias)
- Mediciones Aguas Someras
- Mediciones Batimétricas

## METODOLOGIA

- Apoyo Académico
- Estimación de Incertidumbre
- Bases de Datos de excelencia
- Participación Internacional.

## CATASTRO

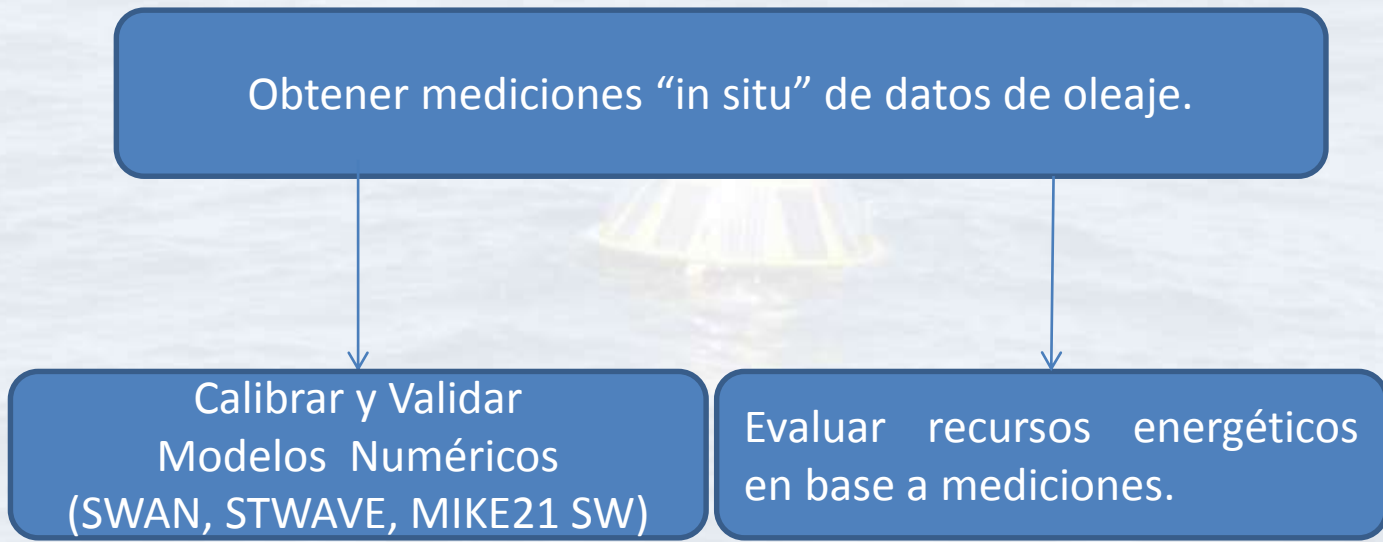
## ELABORACION DE MAPA

- Tablas Potencia – ESTANDAR EMEC
- EMEC ( European Marine Energy Center)

## MODELOS NUMERICOS

- Calibraciones
- Uso de Múltiples Modelos
- Nuevas Metodologías y uso de parámetros específicos.

# Trabajos de campo



# “Equipos Utilizados”

Boyas

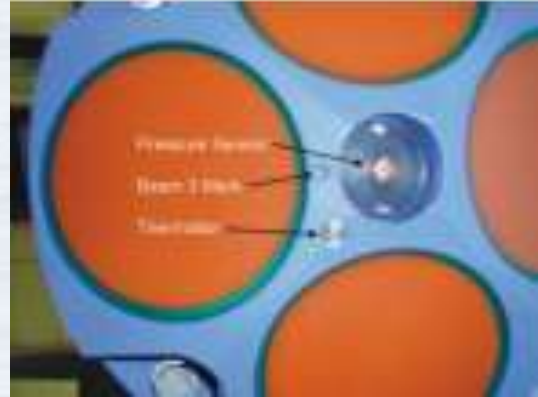


Perfiladores Acústicos





## ADCP Teledyne RD Instruments Workhorse Sentinel WHSW600.



Cúpula de policarbonato



Fanal y antenas de transmisión

Paneles solares

Watchman 500

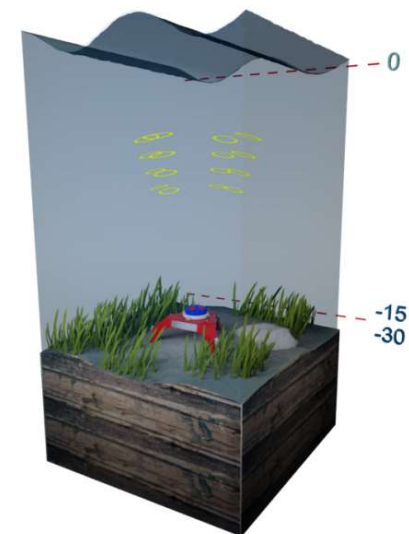
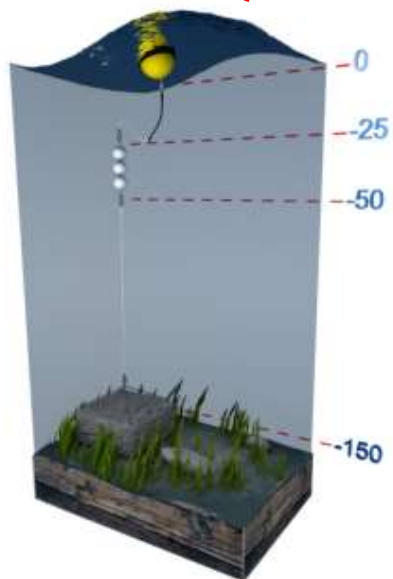
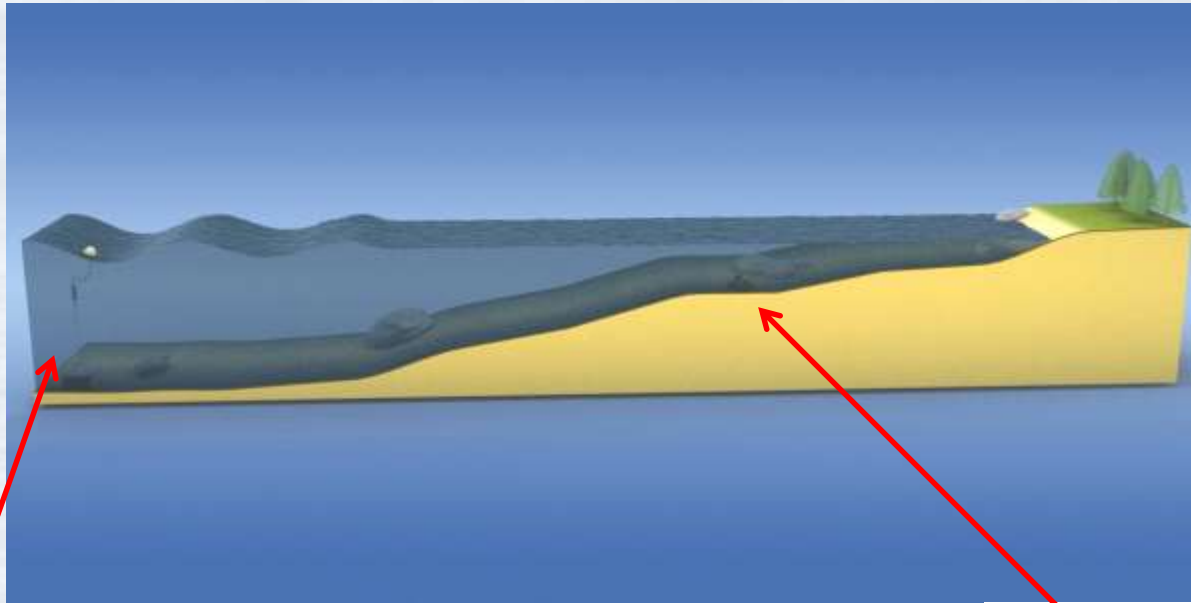
Pack de baterías

Carcasa de acero inoxidable.

### Características básicas:

- Resistente a impactos y giros.
- Fácil manejo
- Reducidos costos de operación y fondeo
- Configurable por el usuario
- Sensor de oleaje fiable y robusto
- Avanzado análisis de movimiento y oleaje direccional.
- Disponible con ADP para perfiles de corrientes.





## CONSIDERACIONES PARA REALIZAR UN FONDEO.....

- Embarcación.

*Apoyo Armada de Chile. (Agradecimientos)*

- Tipo de maniobra a utilizar.

*Océano normal o extremo*

- Tiempo que será fondeado el instrumental.

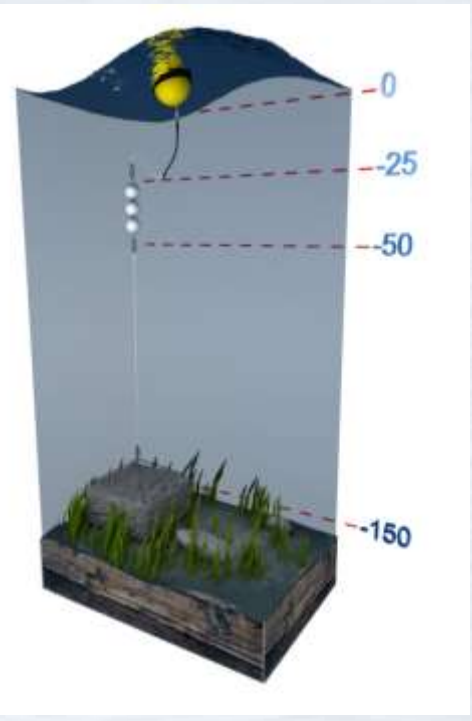
*Mantenciones*

- Eventos fortuitos.

*Vandalismo y condiciones meteorológicas (sistema WatchCircle)*



# Fondeo Boya Triaxys.



## CONSIDERACIONES PARA REALIZAR INSTALACIÓN DE ADCP

- Logística.

*Embarcaciones, planificación.*

- Tipo de maniobra a utilizar.

*Trawl Resistant o SeaSpider*

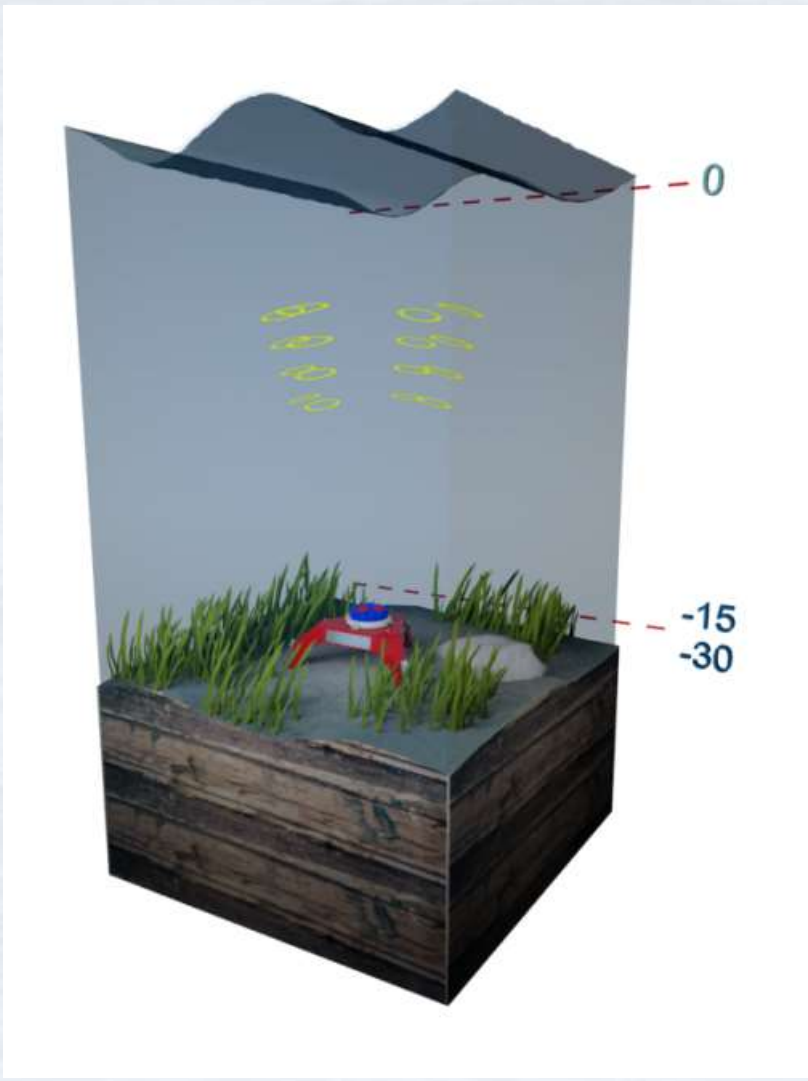
- Tiempo que será fondeado el instrumental.

*Consideración de Mantenciones*

- Eventos fortuitos.

*Vandalismo, condiciones meteorológicas y de transporte de sedimentos (pinger acústico)*

## Fondeo ADCP WHSW 600





## Información entregada por equipos de medición.

- **BOYAS.**

*Espectros (matrices temporales)*

- *129 frecuencias*
- *121 direcciones*

*Parámetros de resumen de oleaje (series de tiempo)*

- *Altura significativa*
- *Periodo significativo*
- *Dirección*
- *Altura máxima etc...*



## Información entregada por equipos de medición.

- **Perfiladores acústicos.**

*Espectros (matrices temporales)*

- *128 frecuencias*
- *090 direcciones*

*Parámetros de resumen de oleaje (series de tiempo)*

- *Altura significativa*
- *Periodo significativo*
- *Dirección*
- *Altura máxima etc...*

## Problemas en terreno

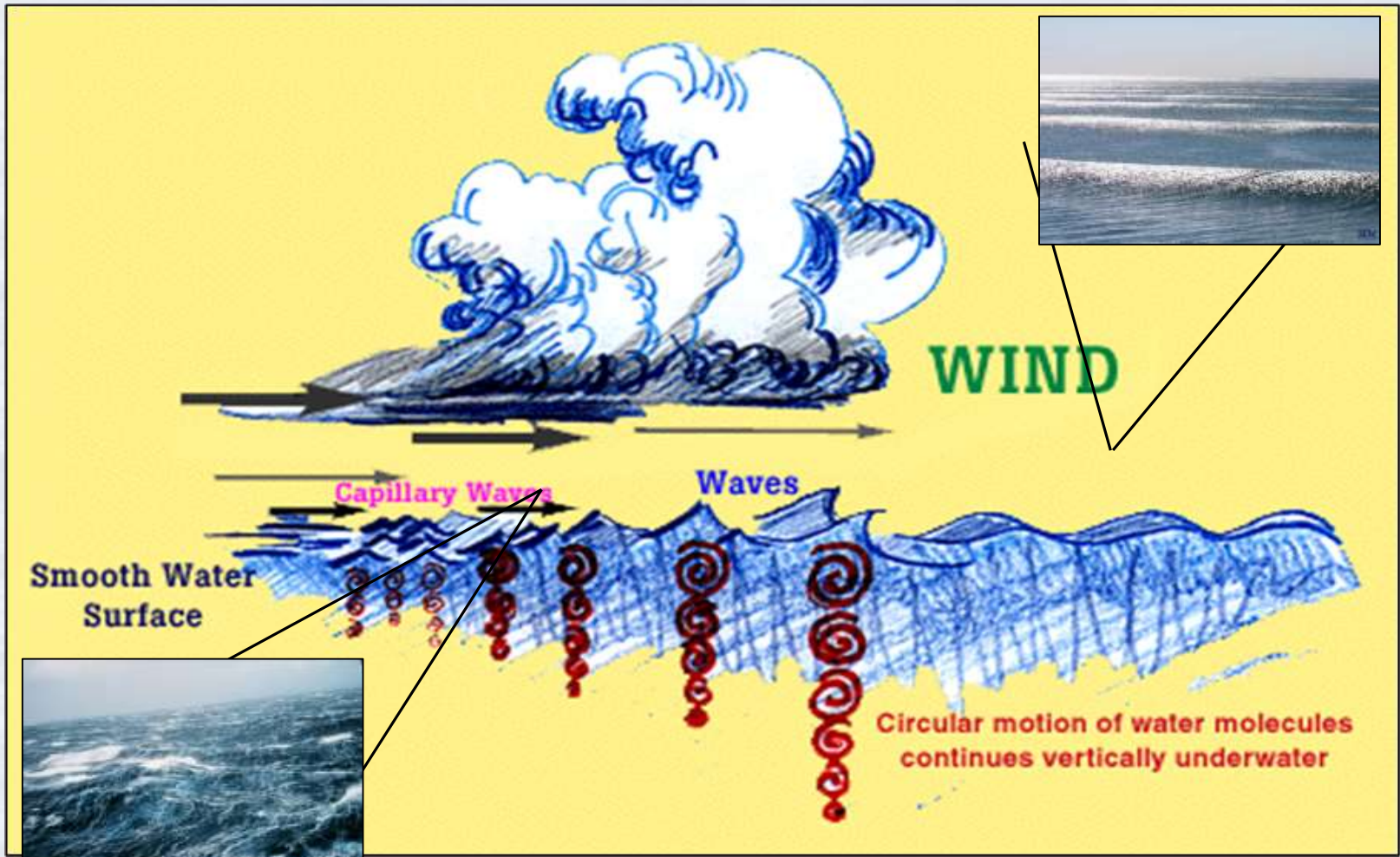
1. Embancamiento de ADCP.
2. Agregación de organismos.
3. Robo de material de línea de fondeo.
4. Relaciones complejas con comunidades del entorno.
5. Disponibilidad de embarcación.





# Metodología

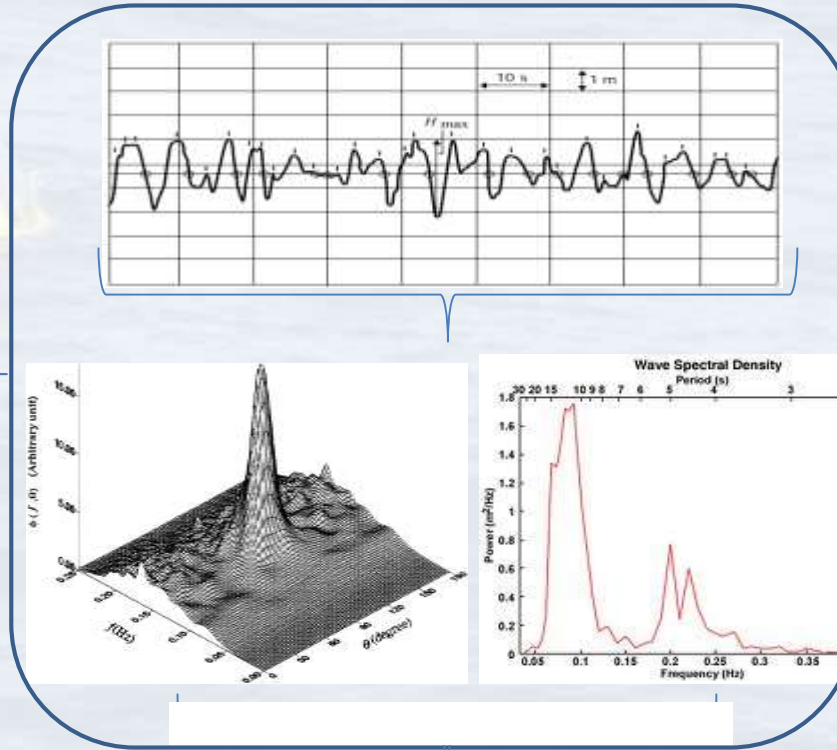
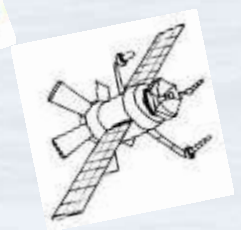
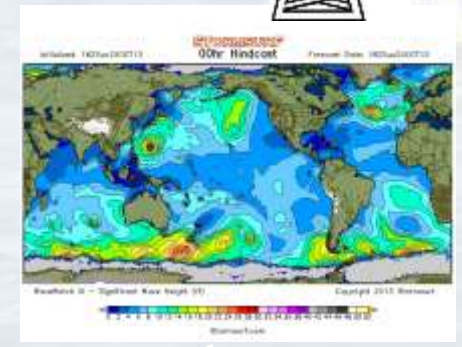
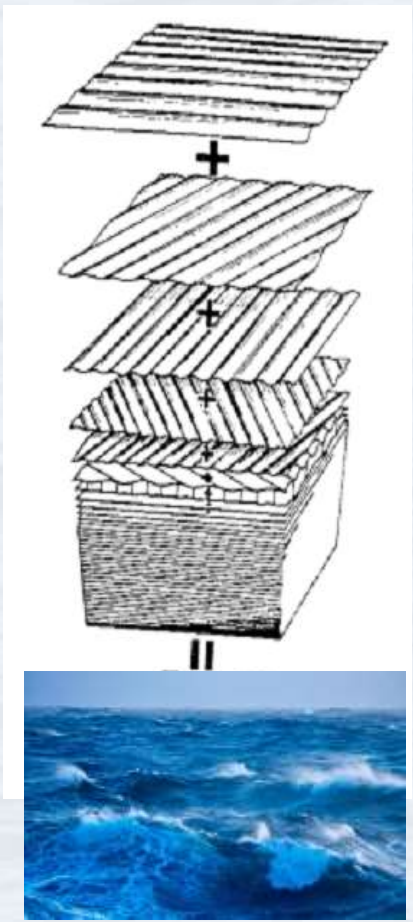
Swell o mar de fondo



Sea waves o mar de viento

# Metodología

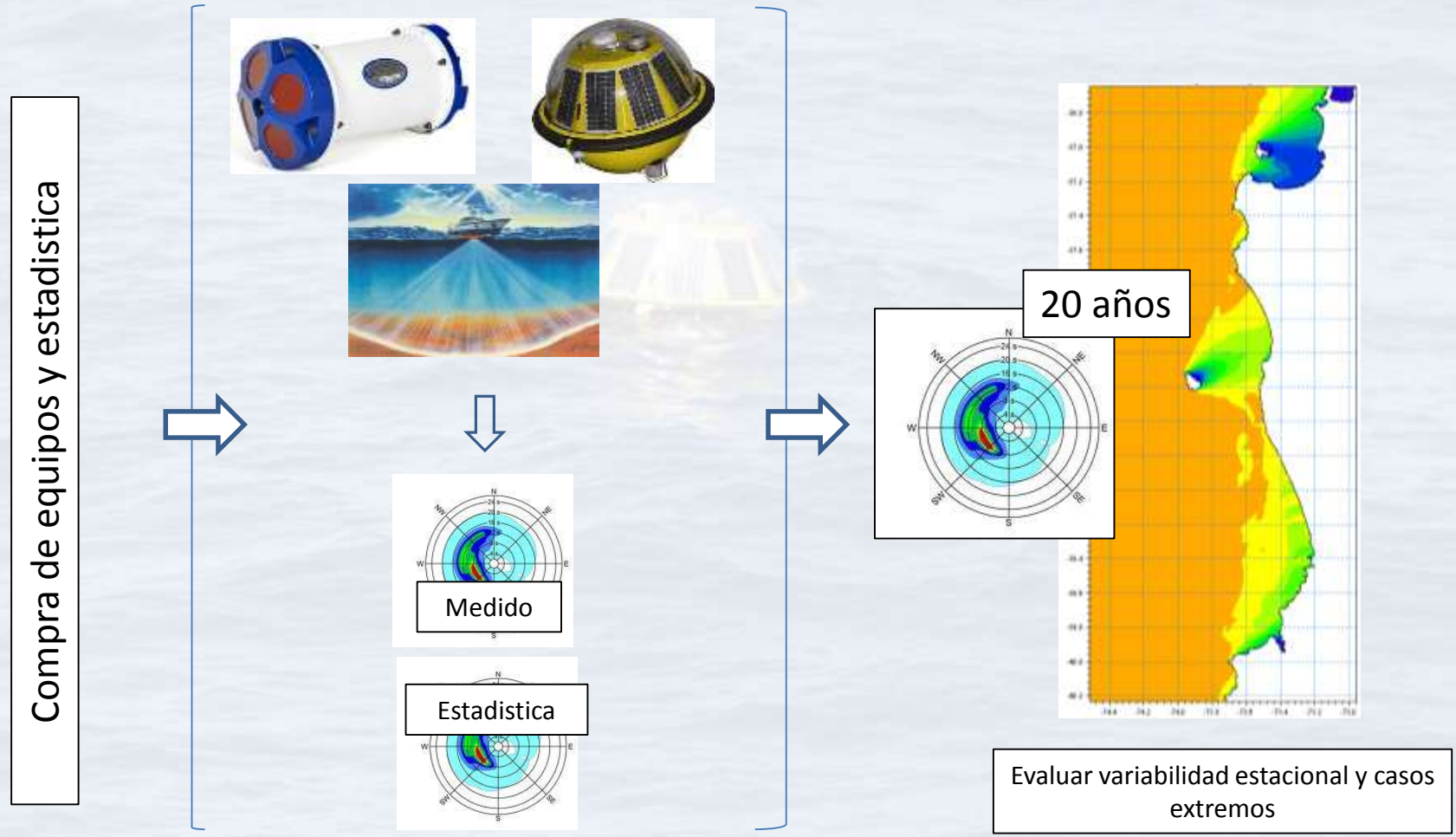
Formas de representar estados de mar



**H - T - D**

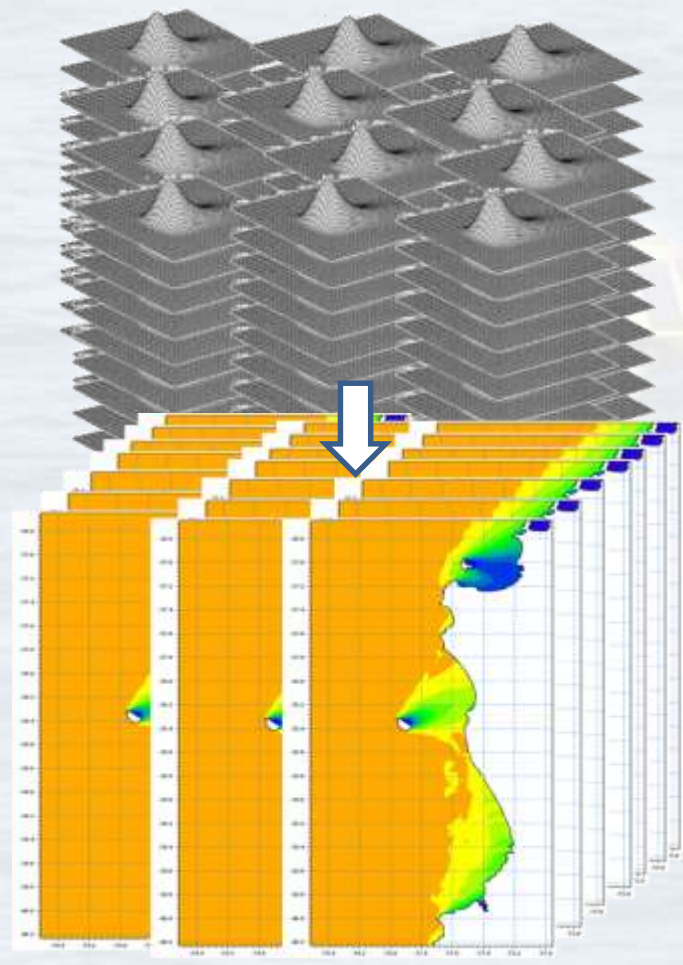


# Metodología



# Metodología

20 años  
X  
365 días  
X  
8 Espectros diarios  
  
=  
  
58.400 modelaciones



X Tamaño del área de modelación  
  
O  
  
X N° de modelos (8)  
  
= 467.200 modelaciones

# Metodología

20 años  
X  
365 días  
X  
8 Espectros  
diarios  
  
=  
  
58.400  
modelaciones

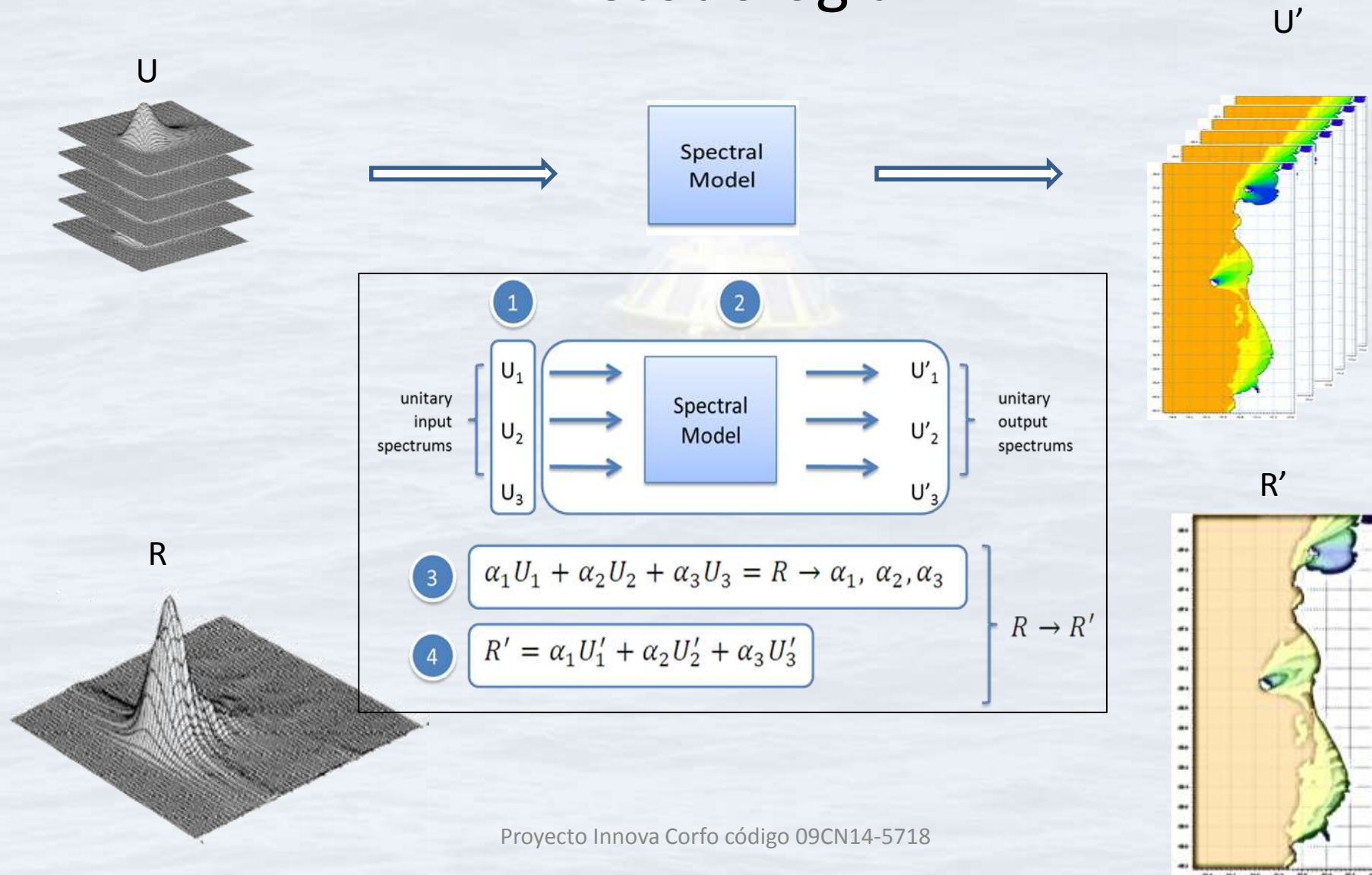


467.200  
modelaciones





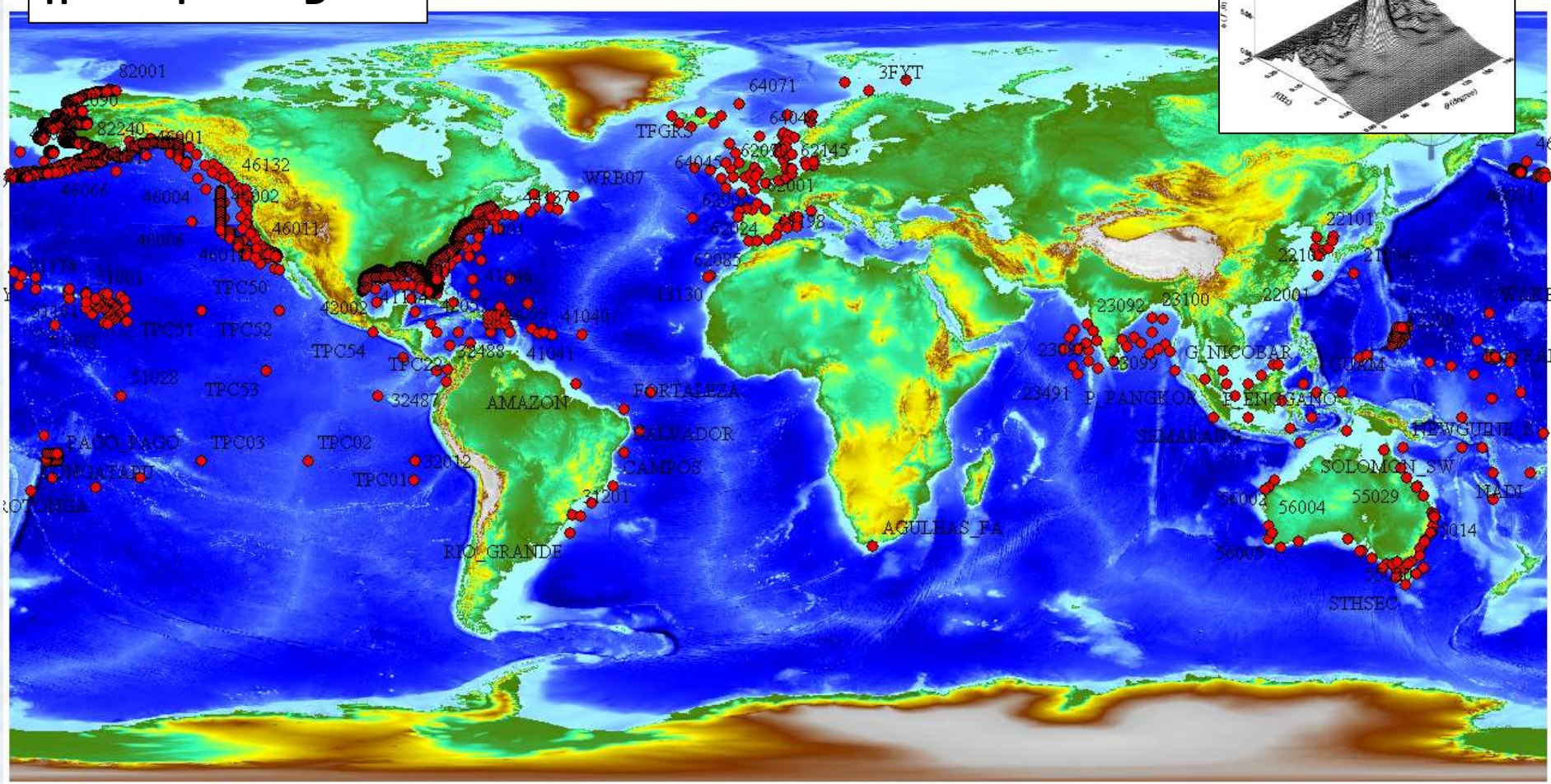
# Metodología



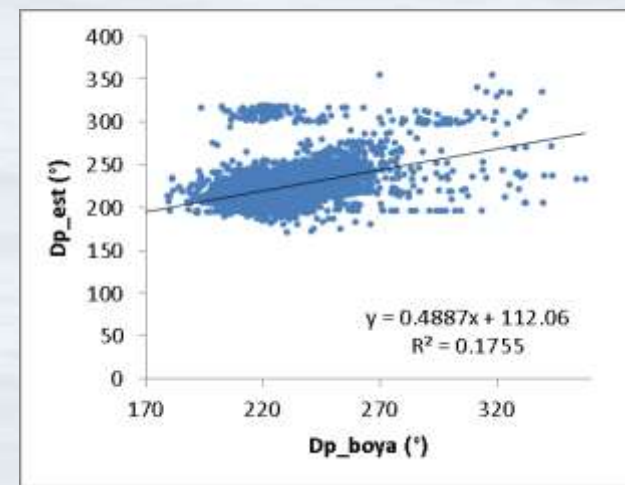
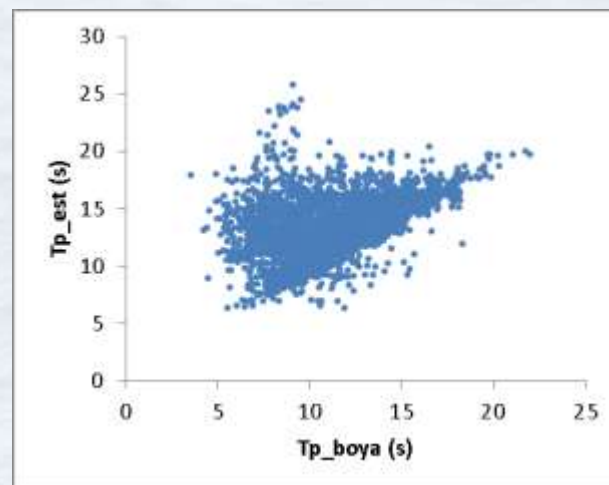
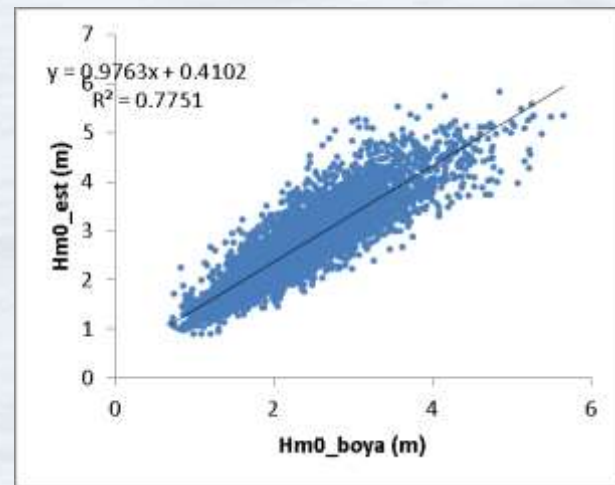


# Análisis de datos de oleaje

H - T - D

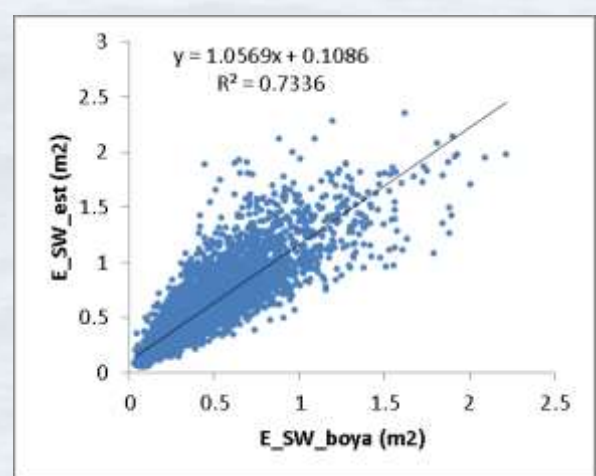
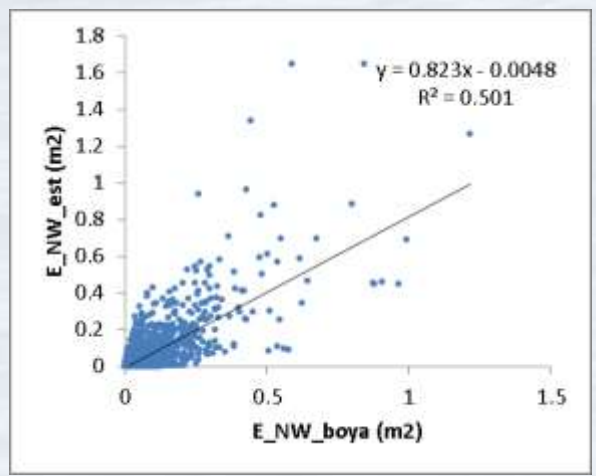
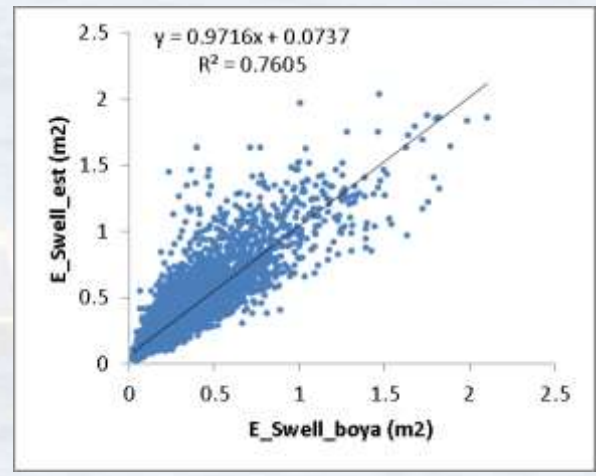
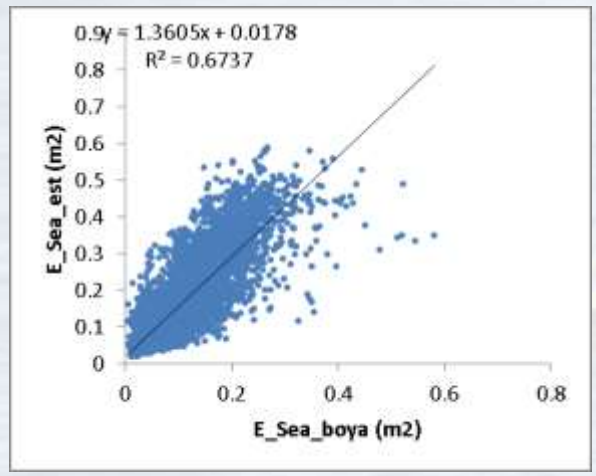


# Análisis de datos de oleaje





# Análisis de datos de oleaje







REGION	POTENCIA MEDIA (KW/m)
Región de Valparaíso	41
Región de O'Higgins	42
Región del Maule	46
Región del Biobío	47
Región de la Araucanía	50
Región de los Ríos	52
Región de los Lagos	57

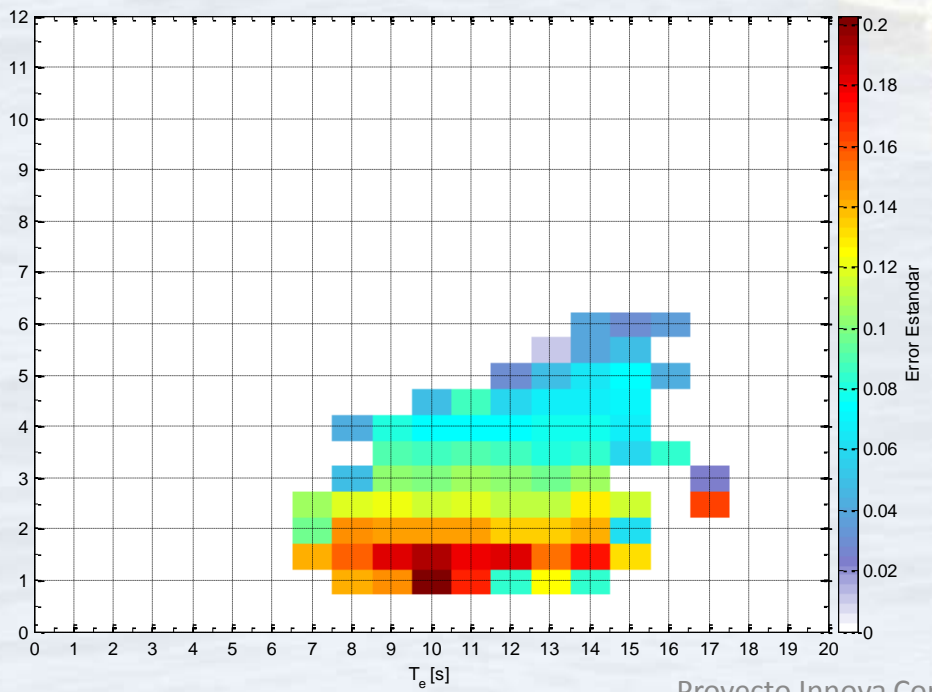


# Datos de Campo

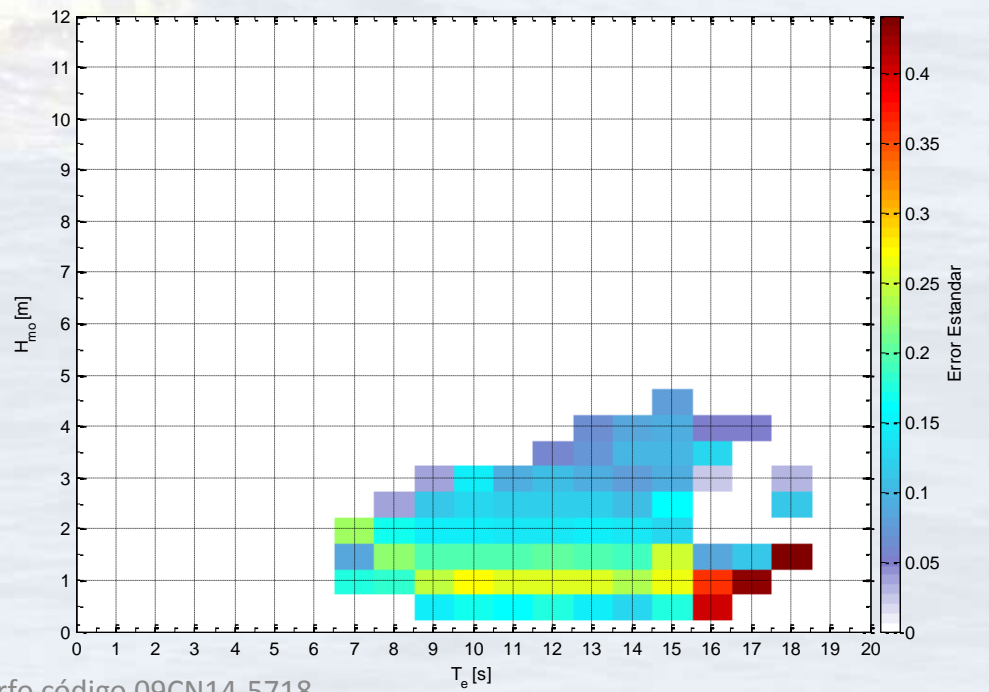
## Matrices de Dispersión de Energía $H_{m0}$ vs $T_e$ .

### Incerteza

#### Aguas de mayor profundidad



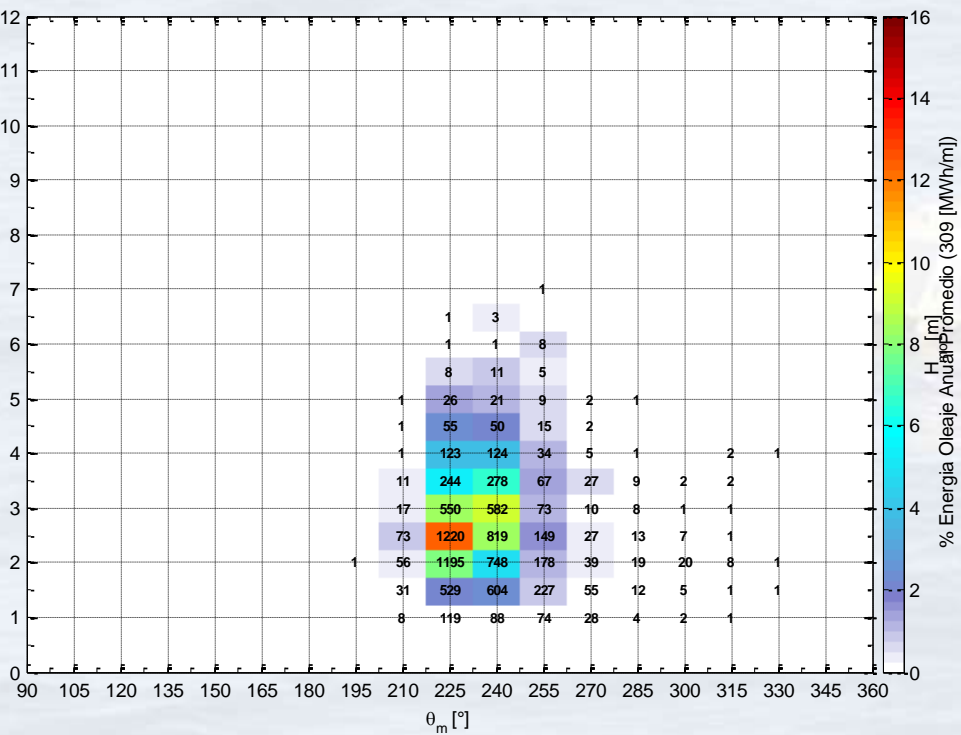
#### Aguas de menor profundidad



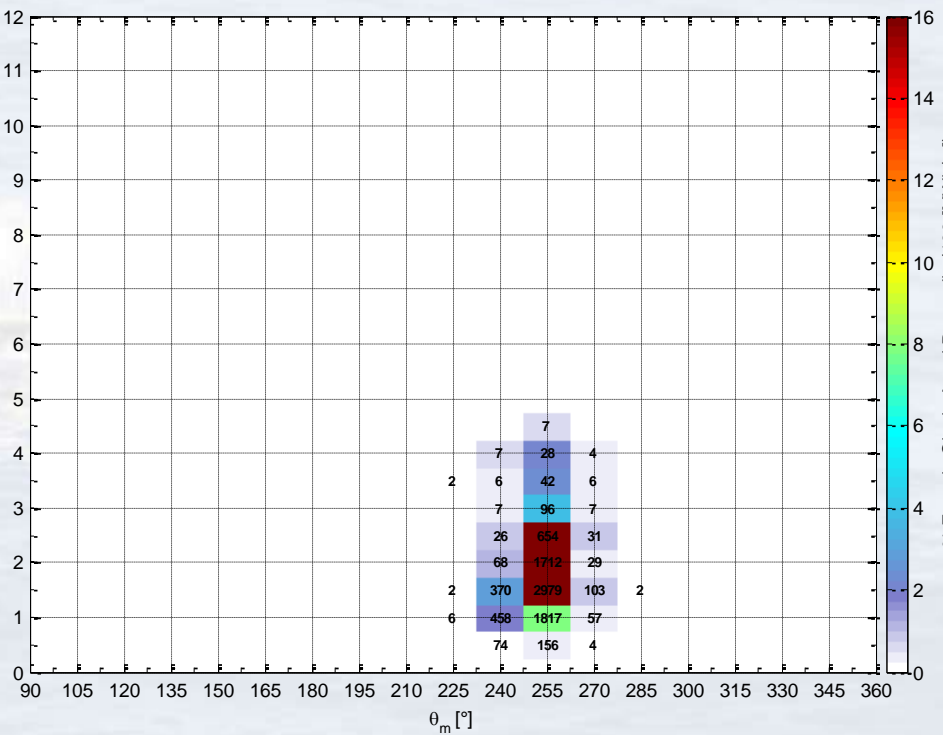


# Matrices de Dispersión de Energía Hm0 vs MWD

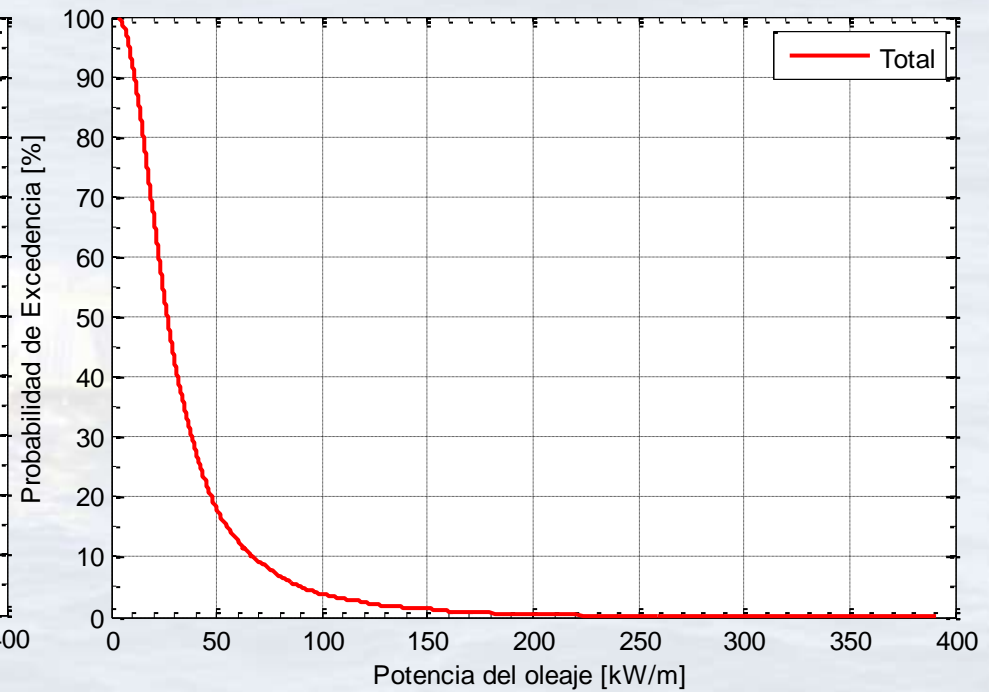
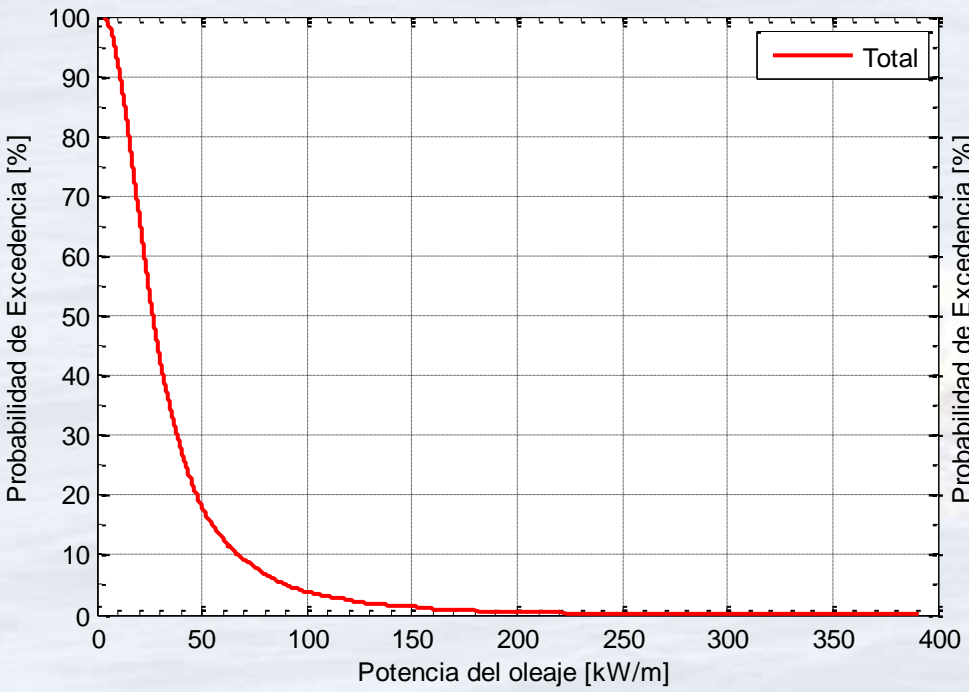
Aguas de mayor profundidad



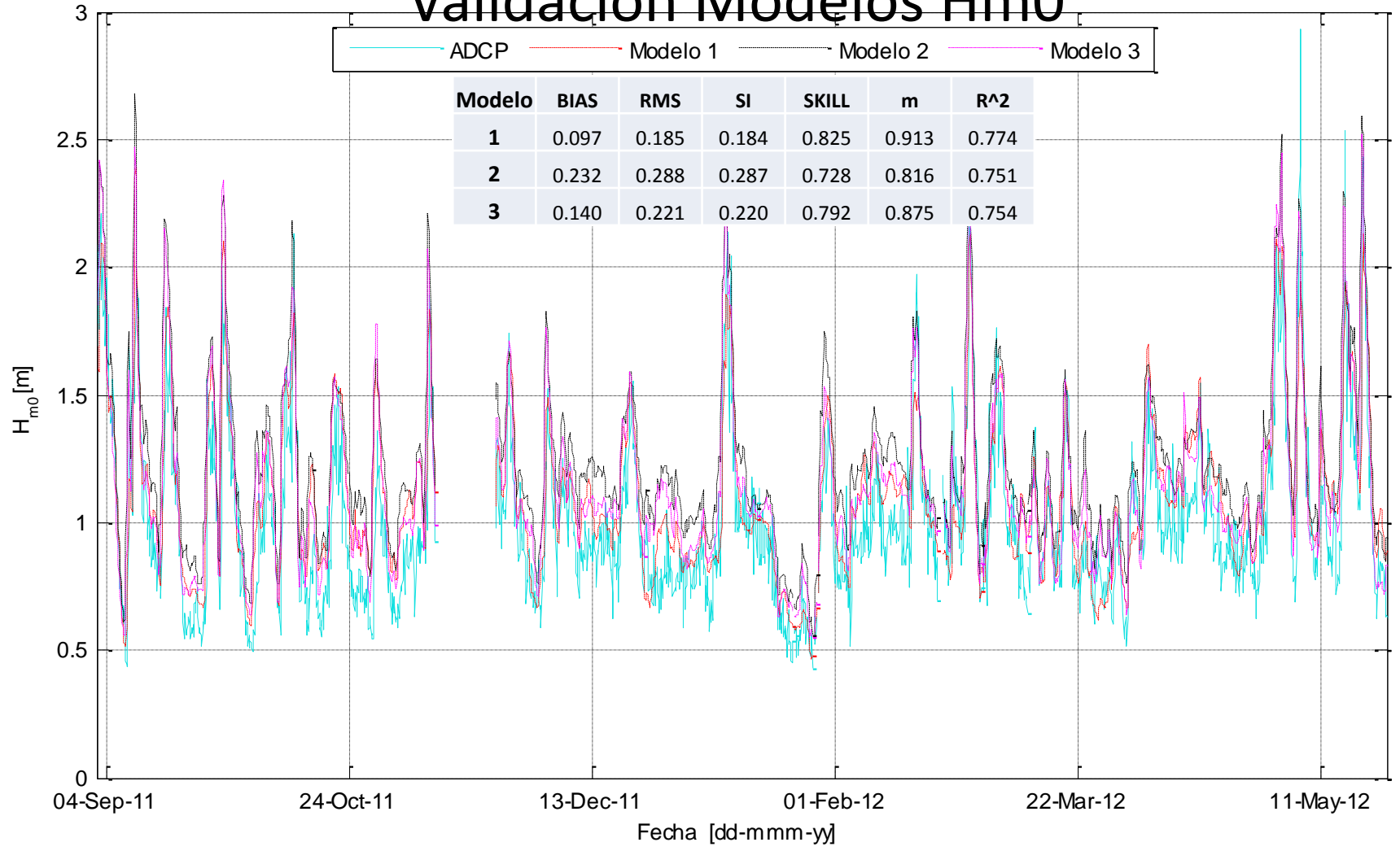
Aguas de menor profundidad



# Curvas de Excedencia

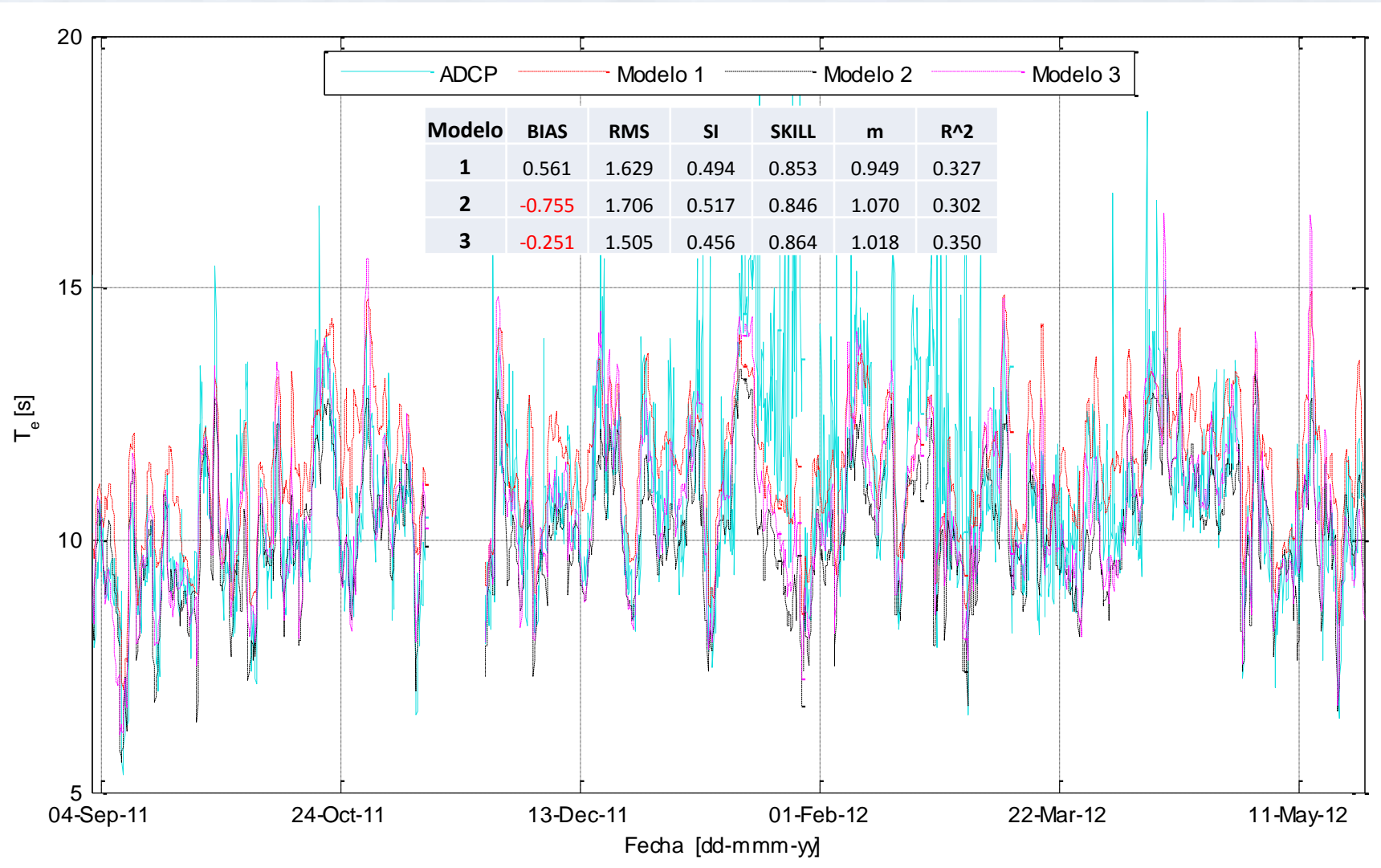


# Modelación Validación Modelos Hm0

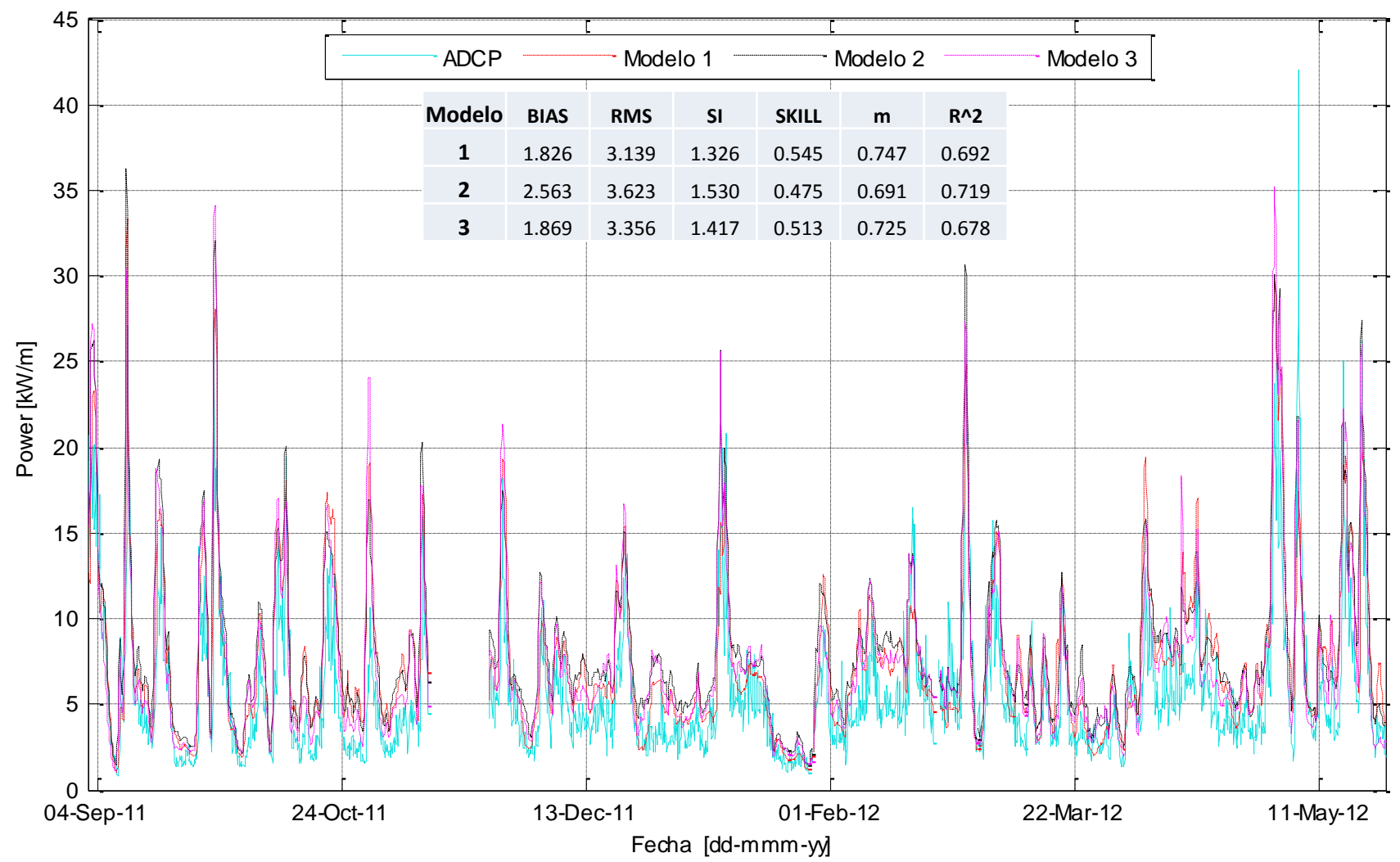




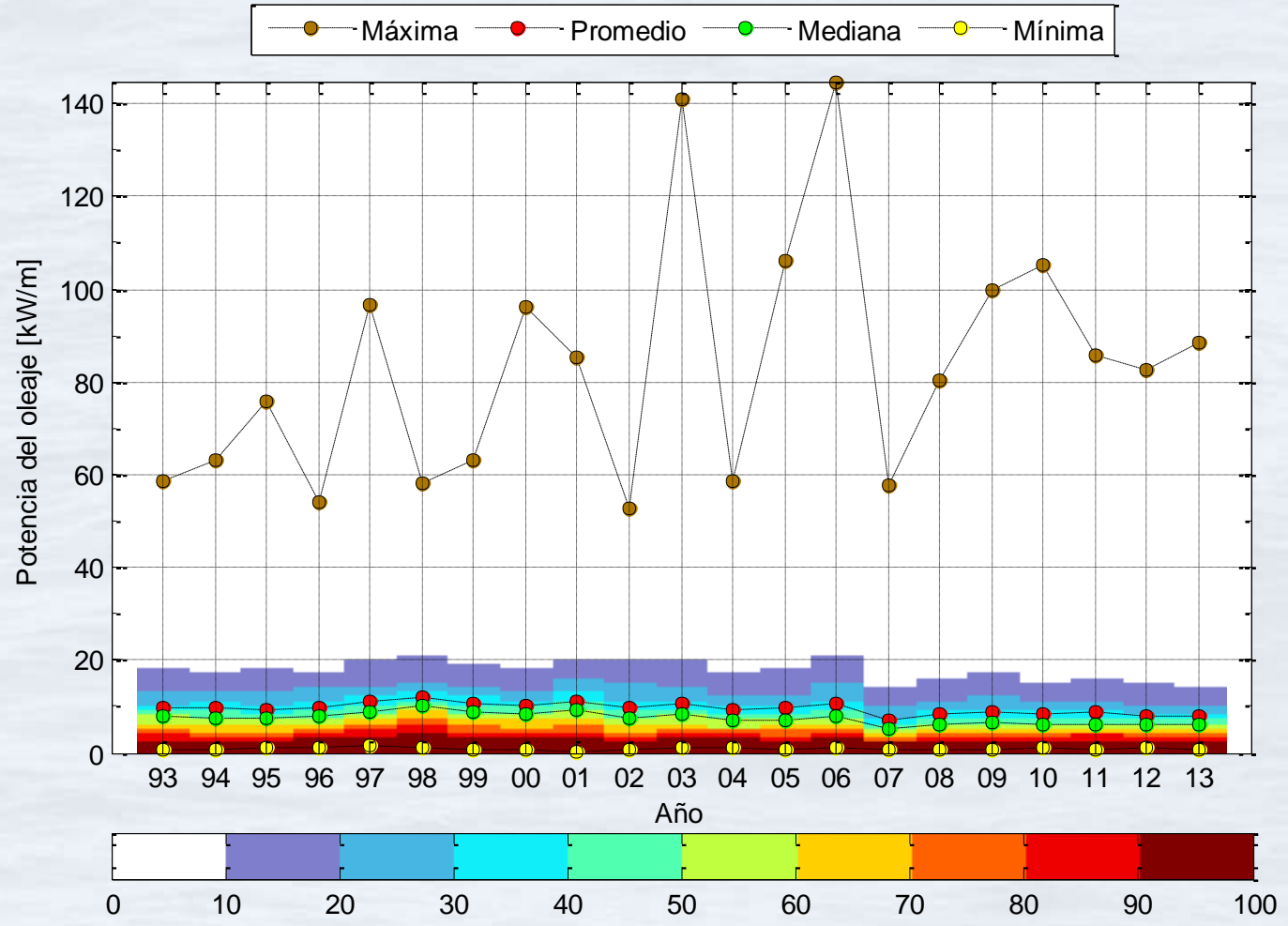
# Validación Modelos Te



# Validación Modelos Potencia

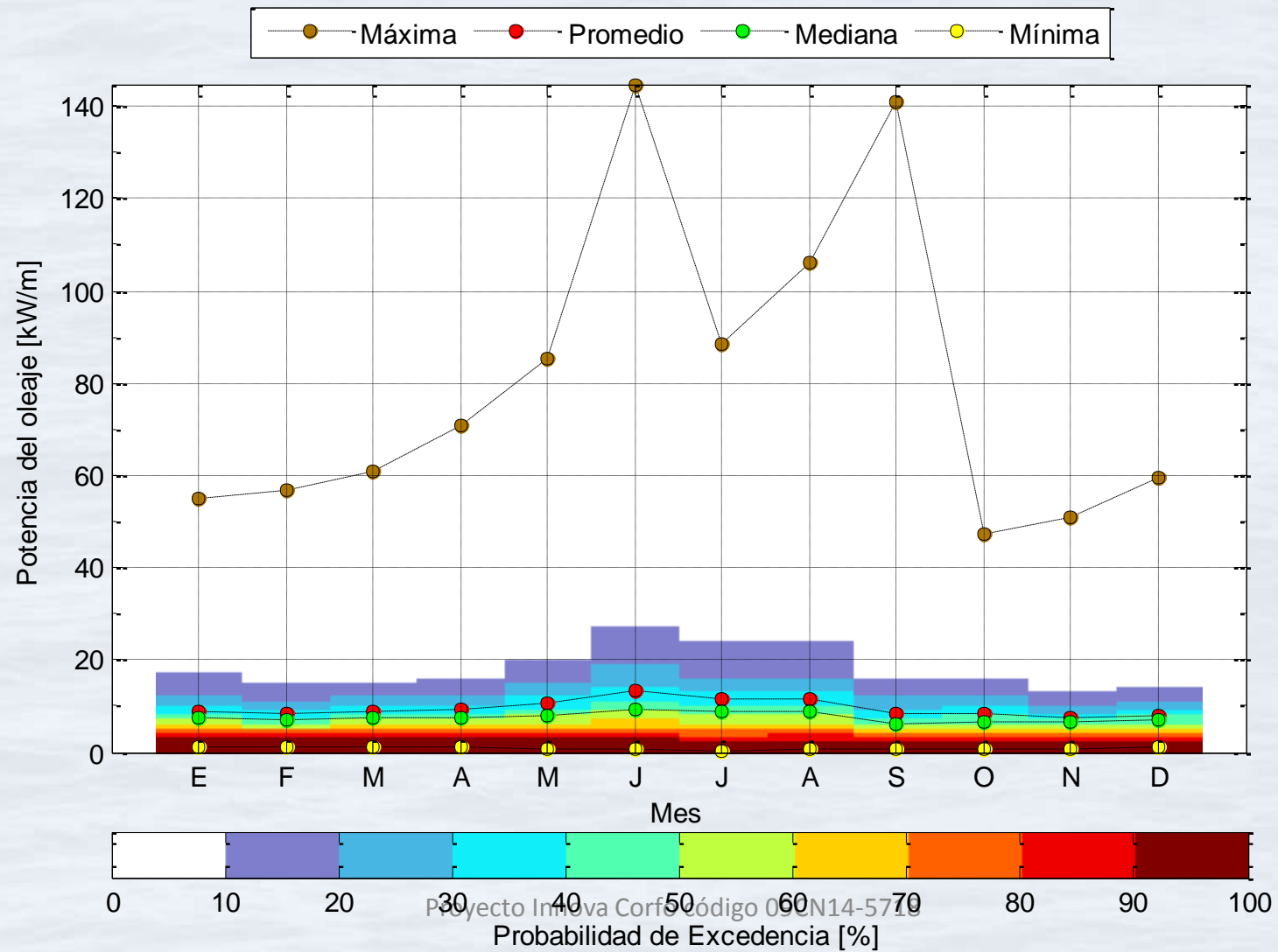


# Estadística de Largo Plazo. Variación interanual

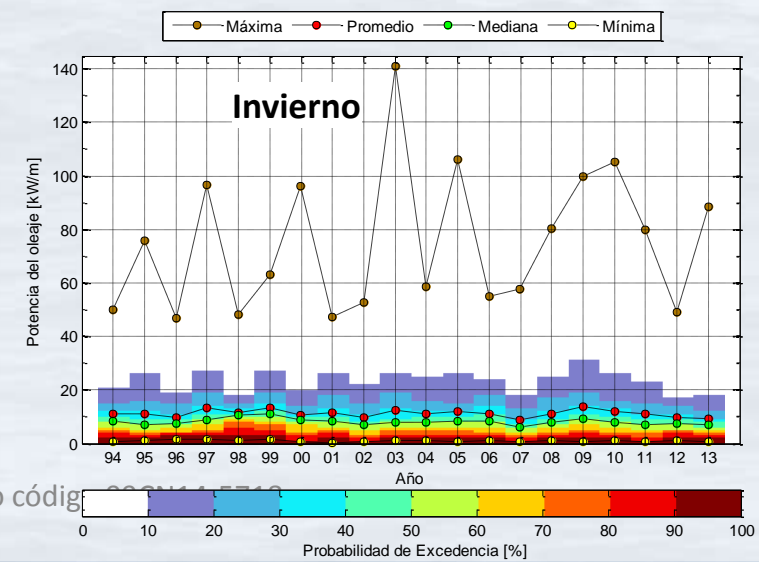
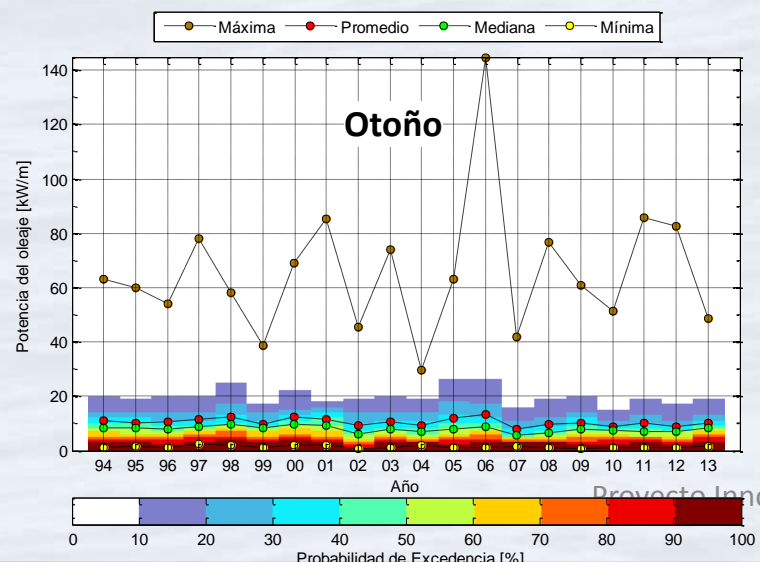
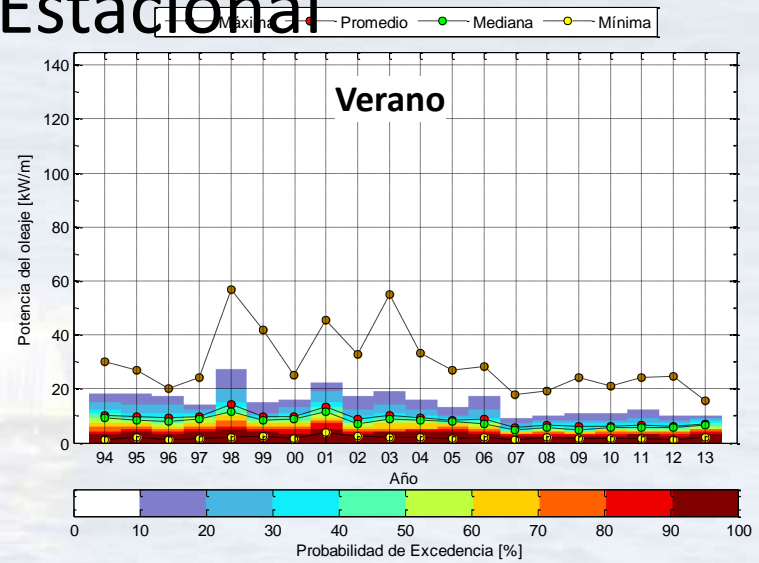
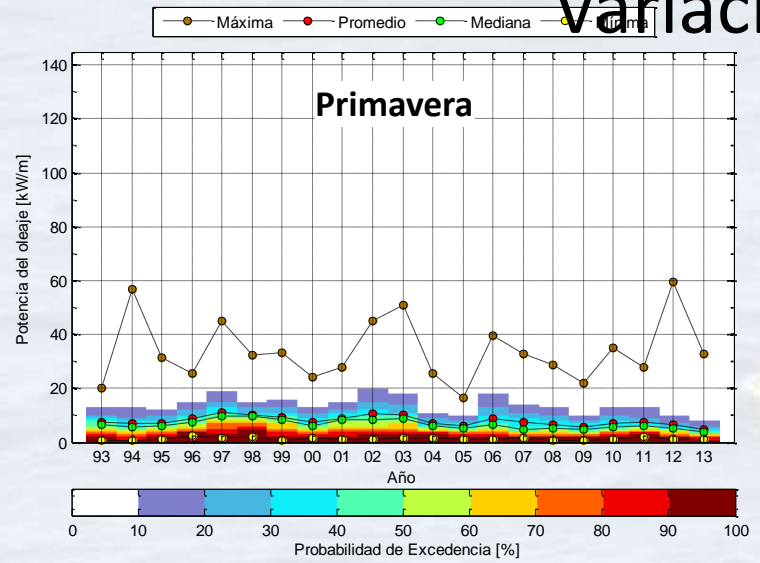




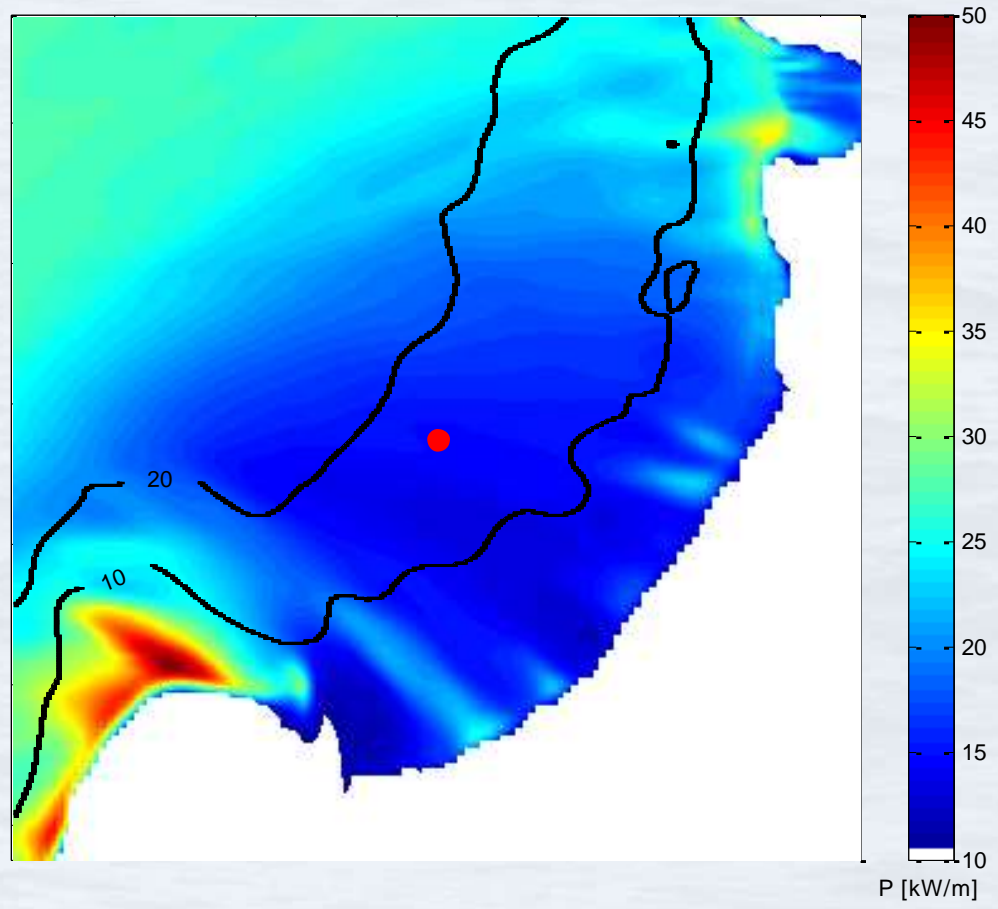
# Estadística de Largo Plazo. Variación Mensual



# Estadística de Largo Plazo. Variación Estacional



# Estadística de Largo Plazo. Mapa de Potencia (mediana)





## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVA FUTURA

- Conclusiones
  - Se logro **cuantificar el nivel de incertidumbre de diferentes modelos numéricos**, a través de mediciones de campo.
    - Modelos SWAN, STWAVE, MIKE21 SW dan resultados similares.
  - El área de estudio entre la V y X regiones, presenta **zonas atractivas** para la instalación de dispositivos, en efecto, este proyecto caracteriza dichas zonas **con normativa EMEC** para facilitar la inversión de fabricantes de este tipo de dispositivos.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVA FUTURA

- Conclusiones
  - De acuerdo a los resultados de las mediciones obtenidas de las boyas, se proyecta que la **zona norte sería más atractiva que lo estimado anteriormente por otros estudios.**
  - En el ámbito internacional existe un gran interés y una fuerte inversión pública y Privada para el desarrollo de las energías marinas. Resalta el ámbito de **los estudios completarios**, como por ejemplo en el desarrollo de **normativas ambientales, tributarias y sociales**, para facilitar el ingreso en los mercados.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVA FUTURA

- Perspectivas futuras.
  - **Extrapolar este estudio hacia la zona norte del país**, específicamente entre la XV y IV regiones, de esta forma completar este estudio.
  - **Extrapolar este estudio hacia territorio insular**, ya que en términos de competitividad de fuentes energéticas puede permitir el ingreso temprano de este tipo de dispositivos.
  - Se considera relevante **mantener un sistema de monitoreo de oleaje** a lo largo de toda la costa de Chile a fin de mejorar las predicciones y disminuir la incertidumbre de los modelos numéricos existentes, replicando lo que se hace en otros países líderes en la materia.
  - Incentivar los **estudios complementarios**, como por ejemplo, aspectos legales, ambientales, incentivos tributarios, normativa de implementación y equipamiento.
  - Crear **un grupo de investigación activo** que fomente el ingreso de los dispositivos de generación considerando la realidad nacional.



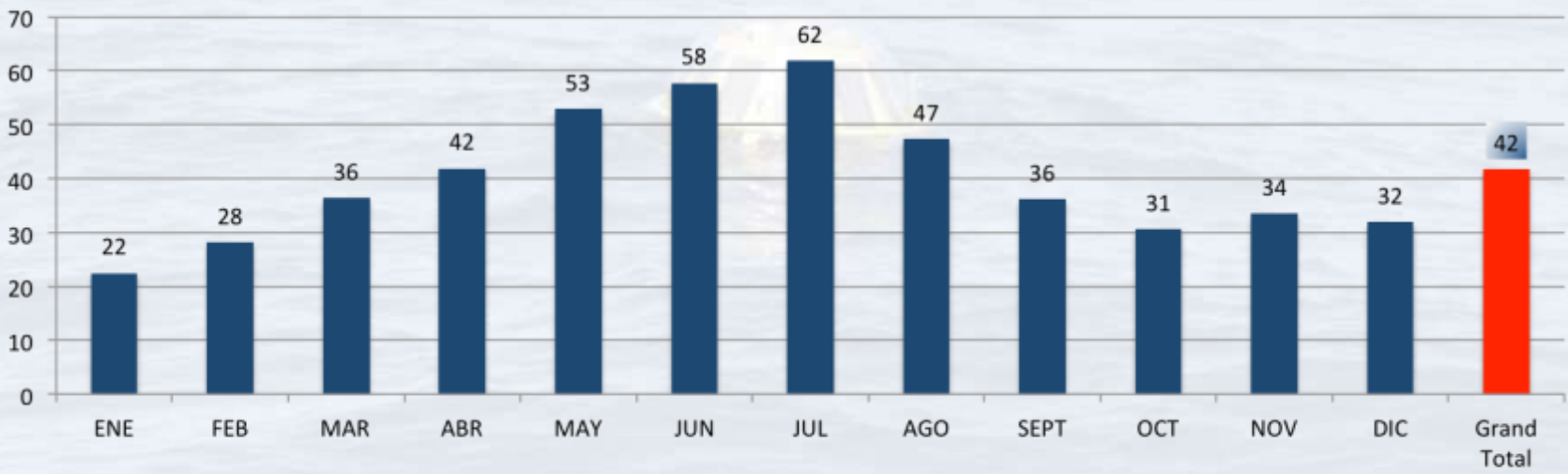
- Agradecimientos a:

- INNOVA CORFO.
- HydroChile
- Armada de Chile.
- Grupo de Trabajo (UTSM,UV,PUC,PRDW).
- Administrativos y personal de apoyo.

# Catastro entre la V y la XIV Región.

Boya Triaxys – V Región.

Average of Density-Energy (KW/m)



Garrad Hasan, 2009 -> 37 KW/m.  
Monardez y Acuña , 2008 -> 43 KW/m