

Paper CA1203_Guerreiro_R - ANÁLISIS DE DATOS DE OLAS DE “ERA5” EN LA PROVINCIA DEL CHUBUT

Das Neves Guerreiro, Ricardo; Ojeda, Francisco
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

Email: ricguerr@gmail.com

ABSTRACT: La Ingeniería de Costas es una rama de la Ingeniería Civil que interviene en obras y procesos ubicados sobre y en las cercanías de las costas marítimas, fluviales o lacustres. Su campo de acción comprende aspectos relacionados con la protección, rehabilitación y uso de la costa y el estudio de sus procesos, como transporte de sedimentos y contaminantes. El conocimiento de la energía aportada por las olas es fundamental para establecer el comportamiento de este sector y las obras ubicadas en el mismo. Las olas también son una fuente de energía renovable. En el litoral patagónico no existen campañas sistemáticas de medición de olas. Sin embargo, en los últimos 20 años se han desarrollado técnicas de re-análisis, en las que se combinan observaciones en distintos lugares del mundo con modelos globales de clima, para generar series de tiempo de distintos parámetros ambientales, incluyendo datos de olas. El presente trabajo estudia el clima de olas en aguas profundas en puntos específicos de la zona de la Provincia del Chubut para su aplicación a distintos estudios relacionados con la costa, a partir del procesamiento de datos del modelo global de clima “ERA5”. Se describe este modelo y los mecanismos disponibles para obtener sus datos, se determinan distintos parámetros estadísticos discriminados por dirección y estación del año, se determinan alturas de olas significativas para distintos períodos de recurrencia y se compara los resultados con otros obtenidos en trabajos anteriores de manera similar pero considerando un distinto período de tiempo, de manera de poder detectar cambios temporales en el clima de olas. Para determinar las alturas de olas correspondientes a distintos períodos de recurrencia se utilizará el método de “picos sobre el umbral”. De la población de datos se toma los valores máximos de los eventos extremos, y se analiza el mejor ajuste a una distribución estadística. Una vez que se encuentra una función de probabilidades que se ajusta de manera satisfactoria a los datos disponibles, se puede estimar la altura de ola para distintos períodos de recurrencia a partir de los parámetros que definen la función de probabilidades. La información generada, podrá ser utilizada para desarrollar anteproyectos de ingeniería de costas, de obras de infraestructura como puertos, canales navegables, obras de defensa y emisarios submarinos, y estudios ambientales relacionados con el impacto de la actividad humana sobre la zona costera.

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo estudia el clima de olas en aguas profundas en puntos específicos de la zona de la Provincia del Chubut para su posterior aplicación (luego de los análisis de propagación) a distintos estudios relacionados con la costa, a partir del procesamiento de datos del modelo global de clima “ERA5”. Se elige esta fuente de datos debido a la falta de datos experimentales, ya que las campañas de medición existentes son de corta duración. La información generada, podrá ser utilizada para desarrollar anteproyectos de ingeniería de costas, de obras de infraestructura como puertos, canales navegables, obras de defensa

y emisarios submarinos, y estudios ambientales relacionados con el impacto de la actividad humana sobre la zona costera. También es útil para evaluar el recurso undimotriz (energía generadas por las olas).

Este trabajo se enmarca en un proyecto de investigación que se está desarrollando en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia “San Juan Bosco”. Este proyecto está en sus primeras etapas, y los resultados que se exponen en este trabajo son provisionarios ya que han sido desarrollados mediante una metodología simplificada.

2 METODOLOGÍA

2.1 Antecedentes

En la costa de la provincia del Chubut, no se han realizado campañas sistemáticas de medición de olas (CcyA Ingeniería, 2015). Las publicaciones científicas sobre clima de olas también son escasas, aunque existen algunas relevantes como (Cardini, 2008). Existen varios estudios realizados por consultoras para distintos comitentes, como la Provincia del Chubut, YPF S.A, y PAN AMERICAN ENERGY LLC para algunas obras que han desarrollado, pero no son públicos. Una situación intermedia se presenta respecto a varios Estudios de Impacto Ambiental para obras como puertos, emisarios submarinos y prospecciones sísmicas, que si bien en teoría son públicos, su acceso no es sencillo. Todos estos estudios, en general han sido desarrollados a partir de datos provistos por OCEANOR (Oceanographic Company of Norway) a partir del modelo UK Met. Office Global Wave Model (UKWM). También se usan datos del modelo "WAVEWATCH III" de la "Administración Nacional del Océano y la Atmósfera" (NOAA). Estas bases de datos conceptualmente son similares a la ERA5, aunque menos sofisticadas, y de menor resolución espacial y temporal, ya que presentan datos cada 3 o 6 horas, mientras que la ERA5 presenta datos cada hora. Tampoco cubren un período tan prolongado como ERA5, y todos los estudios involucran períodos menores a los 40 años, usualmente en el orden de los 10 años, que según (Mazas, 2011) es menor al mínimo recomendado de 20 años.

2.2 Fuente de los datos

Los datos se extraen de la base de datos del proyecto "ERA5" (Reanálisis ECMWF versión 5). El ECMWF es el "Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio". ERA5 es la quinta generación de un reanálisis atmosférico del clima global que comprende el período desde Enero de 1950 hasta el presente. ERA5 es elaborado por el "Copernicus Climate Change Service (C3S)" perteneciente al ECMWF. ERA5 proporciona estimaciones horarias de una gran variedad de variables atmosféricas, terrestres y oceánicas, con una cobertura global. La información se presenta también condensada en promedios diarios y mensuales.

Un reanálisis atmosférico es un proyecto en el que se combinan observaciones históricas y actuales con modelos matemáticos. El objetivo es predecir estados futuros y reconstruir estados

pasados del clima, como también para interpolar a grillas más finas datos observacionales muy espaciados. Se usa una técnica de "asimilación de datos", que es una técnica matemática para combinar de manera óptima observaciones con modelos teóricos, mediante el uso de técnicas numéricas como elementos o diferencias finitas. Se ejecutan los modelos y se comparan los resultados con las observaciones disponibles. Se determinan los desvíos entre estos dos valores y se establecen coeficientes de corrección para el modelo, que se ejecuta sucesivamente aplicando esta técnica hasta lograr la mejor concordancia entre los valores indicados por el modelo y los valores obtenidos mediante observaciones. Cuando los valores indicados por el modelo coinciden con los valores observacionales en los puntos específicos en que están disponibles, se asume que los valores indicados por el modelo también serán válidos para puntos y/o parámetros de los que no se dispone de observaciones.

La base de datos está dividida en 2 secuencias temporales, desde 1950 hasta 1979, y desde 1979 hasta el presente. Esto es así porque el C3S está recalculando el primer período (1950-1979), porque considera que existen deficiencias en los resultados del modelo y está trabajando en ajustarlo para lograr la misma exactitud que en el segundo período. Sin embargo, las deficiencias sólo parecen afectar regiones tropicales.

2.3 Descripción de los datos

El modelo trabaja con una grilla gaussiana de 30 km de resolución en la horizontal, y 137 niveles en la vertical.

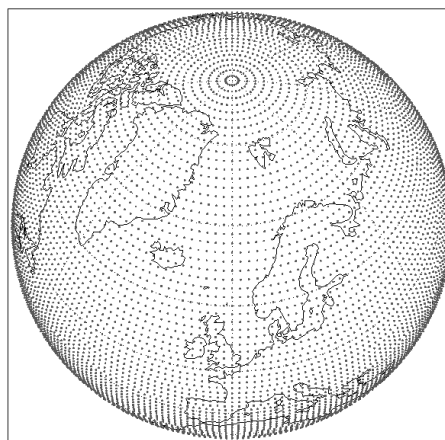


Figura 1: Ejemplo de grilla gaussiana

Si bien una grilla gaussiana es rectangular, no es regular, ya que aunque sobre los paralelos los puntos están igualmente espaciados, sobre los meridianos el espaciado es irregular (aunque

con diferencias pequeñas). Los paralelos difieren entre sí en el número de puntos de grilla que contienen.

Sin embargo, los datos accesibles al público en general están interpolados sobre una grilla rectangular de 0.25° para datos generales y de 0,5° para datos de olas. Estos se encuentran disponibles mediante un servicio provisto por C3S denominado "Climate Data Store" (CDS).

Respecto a los datos atmosféricos, proporciona alrededor de 200 parámetros distintos, incluyendo datos sobre altimetrías, tipo de suelos, datos de viento, de humedad, de nubosidad y de radiación solar.

Respecto a los datos de olas, la grilla nativa de cálculo es de 0,36°x0,36°, aunque el CDS la proporciona interpolada a una grilla de 0,5°x0,5°. Hay disponibles 50 parámetros distintos, incluyendo la batimetría, información sobre el viento (densidad del aire, velocidades, energías), y datos de las olas, discriminadas por olas generadas por vientos locales (sea), y olas generadas por vientos lejanos (oceánicas o swell). Además, en el caso de las olas oceánicas, discrimina hasta 3 componentes independientes que pudieran estar incidiendo en el sector bajo estudio.

También proporciona datos sobre olas locales y oceánicas combinadas. Proporciona distintos datos de períodos medios y períodos de pico, direcciones de incidencia y espectros de energía.

2.4 Mecanismos de obtención de los datos

El portal CDS implementa tres mecanismos para la obtención de los datos, una página web, una interfaz de programación de aplicaciones (API), y un entorno de desarrollo (TOOLBOX). En la página web, se puede tildar el año, la fecha, la hora y los datos deseados, además de seleccionar, mediante latitud y longitud, una región del planeta de la que se desea la información. Cuando se selecciona el botón de obtener los datos, la página web inicia la operación y luego de un tiempo variable, se descarga un archivo, en formato grib o netCDF. Estos formatos fueron creados para condensar datos científicos en forma estructurada y eficiente, y el formato grib es muy popular para trabajar con datos atmosféricos. El tiempo de espera de las consultas depende del tipo de información seleccionada, de la cantidad de parámetros y de la extensión temporal y geográfica solicitados, y también de la carga de trabajo del servidor. Para el caso de este trabajo, en las pruebas realizadas el tiempo de espera

ha variado entre unos pocos minutos y una hora y media.

Cada solicitud puede contener una cantidad máxima de datos. Para una región de 2° de latitud y 2° grados de longitud, solicitando unos nueve parámetros, la extensión temporal máxima que puede solicitarse de una sola vez, considerando una resolución temporal horaria, es de alrededor de un año.

La API está diseñada para el lenguaje de programación Python. Python es un lenguaje interpretado de alto nivel de programación, que permite escribir código de fácil lectura. Es uno de los lenguajes de programación más populares de los últimos años, lo que ha permitido la creación de múltiples módulos que amplían sus capacidades. Para utilizar la API, se debe escribir un programa relativamente sencillo donde se establecen los datos deseados, y la extensión temporal y espacial requerida. Como en la página web, cada consulta a la base de datos está acotada, pero ya que se está trabajando con un programa, es sencillo implementar una lectura secuencial dividiendo la extensión temporal total en intervalos de un año, por ejemplo. Cada una de estas consultas genera un archivo de datos que se puede ir almacenando en el disco rígido de la computadora que está realizando la consulta. Para el caso de este trabajo, se ha implementado un programa que descarga en forma secuencial los datos para el intervalo 1980-2020, dividiéndolo en períodos de un año. Se han realizado varias consultas similares, y los tiempos de ejecución totales han variado entre 16 y 48 horas, dependiendo de la carga de trabajo del servidor.

En el TOOLBOX se trabaja con una operatoria similar a la de la API, aunque los programas se ejecutan en los servidores de la CDS y permite el procesamiento de la información y la elaboración de gráficos. Presenta la ventaja que se puede pedir un punto individual de datos, mientras que con la página web y la API solo puede seleccionarse una región. No se ha trabajado con esta herramienta.

En todos los casos, estas herramientas y la información son gratuitas, pero es necesario registrarse en la CDS para tener acceso.

2.4 Área de trabajo

Si bien en el proyecto de investigación que da origen al presente trabajo está previsto procesar datos de la zona de Comodoro Rivadavia y de la zona de Trelew, hasta el momento solo se ha realizado un primer análisis de los datos de la zona de Comodoro Rivadavia, y son estos resultados los que se exponen en este trabajo.

En primer lugar se solicitó datos de una región comprendida entre 45,5° y 46,5° de latitud sur, y entre 67,75° y 66,75° de longitud oeste. El sistema proporcionó 7 datos, según la grilla indicada en la figura 1, con una separación de 0,5° tanto en latitud como en longitud. Al procesar los datos, se obtuvieron valores para períodos de recurrencia de 50 años significativamente menores a los de algunos estudios similares. Se considera que esta discrepancia podría deberse a la interpolación que realiza el sistema de C3S para convertir los datos desde su grilla interna a la grilla de salida, por la presencia de los sectores de tierra. El modelo trabaja con una grilla gaussiana de 30 km de resolución en la horizontal, y 137 niveles en la vertical.



Figura 2: Primer área de trabajo

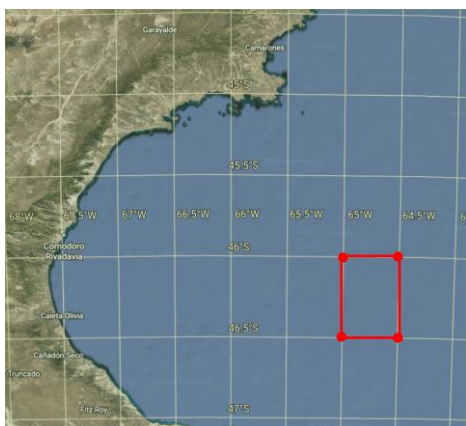


Figura 3: Área de trabajo definitiva

Por esta razón se decide trabajar con datos de una región ubicada en la boca del Golfo San Jorge. Para ello, se solicitan datos del sector comprendido entre los 46° y 46,5° de latitud sur, y entre 65 y 65,5 grados de longitud oeste. En la figura se indica con un rectángulo rojo la región solicitada, y con puntos rojos los datos obtenidos.

2.5 Procesamiento de los datos

Luego de ejecutar la secuencia de comandos que descarga los datos desde el servidor CDS, se obtiene 40 archivos en formato grib, cada uno de ellos conteniendo la información de un año del período 1980-2020. Se han solicitado datos de dirección, período y altura significativa tanto de olas locales, como de olas oceánicas y como de las olas totales (efectos combinados de ambas). Estos 40 archivos se procesan utilizando una combinación de herramientas de los sistemas linux y de programas Python.

ECMWF proporciona en su página web para la decodificación de archivos en formato grib, una serie de herramientas de comando de textos que pueden ser ejecutados desde una consola linux, conocidas como “GRIB tools”. Sin embargo, se ha encontrado más operativo utilizar para la decodificación de los archivos grib una herramienta creada por el “Instituto Max Planck para la Meteorología”, denominado “cdo”, también disponible para ser usados en consolas linux.

La información se condensa en un único archivo separado por comas, donde cada línea representa una hora del período bajo estudio, y cada línea contiene varias columnas donde se indica el día, la hora, y los datos de las olas. Nótese que para un período de 40 años, se dispone de 350.640 datos horarios (o filas), lo que dificulta su procesamiento mediante hojas de cálculo.

2.6 Determinación de la ola de diseño para distintos períodos de recurrencia

Para determinar la ola de diseño para un período de recurrencia dado, se debe utilizar la “teoría de valores extremos”. El objetivo de esta teoría es predecir la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos a partir de un conjunto de datos observacionales. Por ejemplo, se intenta predecir la altura de ola que se produce en promedio una vez cada 50 años, cuando sólo se dispone de registros de 10 años de duración. La “teoría de valores extremos” se usa en muchas disciplinas, como la ingeniería civil, la industria financiera, y en teoría de fallas de equipos o maquinaria. Es una disciplina reciente, que comienza a desarrollarse alrededor de la década de 1950, y es un campo que actualmente se encuentra en pleno desarrollo. Conceptualmente, de varias distribuciones de probabilidades, se estudia cuál se ajusta mejor a los datos disponibles, obteniendo por métodos numéricos los coeficientes que describen estas distribuciones de probabilidades. Una vez que

se encuentra una función de probabilidades que se ajusta de manera satisfactoria a los datos disponibles, se puede estimar la altura de ola para distintos períodos de recurrencia a partir de los parámetros que definen la función de probabilidades.

De las referencias bibliográficas, se encuentra que se puede adoptar dos metodologías, que aunque son conceptualmente similares, presentan diferencias metodológicas. La primer metodología es específica para estudios de olas, y es la indicada por (Goda, 2000). La segunda metodología es genérica y puede ser utilizada por todas las disciplinas científicas que estudian problemas relacionados con la teoría de valores extremos. Si bien en el proyecto de investigación se usará la metodología establecida en (Goda, 2000), debido a que el proyecto se encuentra en etapas iniciales, en este trabajo se utilizarán herramientas informáticas que implementan la metodología genérica. Para ello, se utilizará el módulo de Python "pyextremes" (<https://georgebv.github.io/pyextremes/>), que implementa una serie de herramientas para desarrollar este tipo de análisis.

3 RESULTADOS

3.1 Introducción

En un primer momento se intentó trabajar con puntos cercanos a la costa. De algunas consultas iniciales a la base de datos, se determinó que es posible obtener datos de puntos ubicados a no más de 25 km de costa, en profundidades del orden de los 60 metros. Con estos datos, se realizaron estimaciones para un período de retorno de 50 años. Estas estimaciones resultaron sensiblemente inferiores a los valores mencionados en los antecedentes, y también a los valores de las olas de diseño de las estructuras construidas en la zona de Comodoro Rivadavia. Se estima que esta discrepancia se debe a alteraciones producidas por la presencia de las masas de tierra, bien en los modelos numéricos, o en las interpolaciones de la malla de cálculo a las mallas de almacenamiento de datos. Por esta razón, se decide trabajar con un punto ubicado en la boca del Golfo San Jorge. Los resultados preliminares hallados hasta el momento con este punto son similares a los mencionados en los antecedentes. La desventaja de utilizar esta segunda serie de puntos es que será necesario realizar estudios de propagación para obtener alturas de olas en zonas cercanas a la costa.

3.2 Rosa de oleaje

En una primera etapa está previsto realizar algunos estudios de estadística descriptiva. Como el proyecto de investigación que da origen al presente trabajo se encuentra en su inicio, por el momento sólo se han realizado algunos análisis básicos.

Por ejemplo, se estudia la dirección de incidencia, a partir de una rosa de olas.

Se utiliza un módulo de Python denominado "windrose" (<https://github.com/python-windrose/windrose>)

Considerando la totalidad de los datos, resulta:

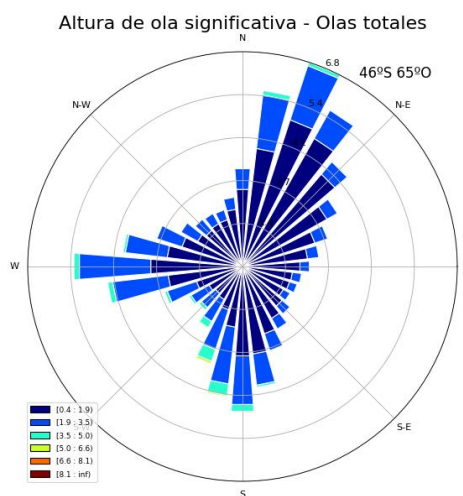


Figura 4: Olas totales

Las olas inciden principalmente desde 3 direcciones, Nor-Noroeste, Sur y Oeste. Si bien la leyenda indica que existen olas de más de 8 metros de altura, la mayor proporción de olas es de hasta 5 metros, por lo cual la escala de este gráfico no permite apreciar las olas mayores, que son justamente las de interés para determinar olas de diseño. Para subsanar esta inconveniente, se decide estudiar exclusivamente las olas que inciden desde el mar hacia la tierra, y para poder detectar los patrones de incidencia de las olas mayores, sólo se consideran aquellas de altura significativa mayores a 4,5 metros. Resulta entonces:

Altura de ola significativa cuadrantes E mayores 4.5m

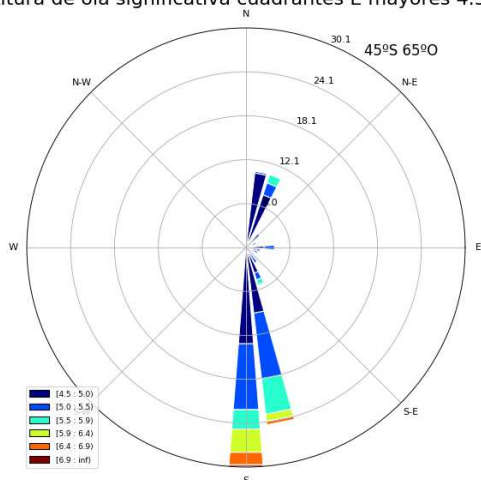


Figura 5: Olas cuadrante E mayores 4,5 m

Las olas más altas y con mayor frecuencia son aquellas que vienen desde el S o SSE. En menor medida desde el Nor-Noreste y una pequeña cantidad, desde el Este. Esta información es compatible con las referencias consultadas en los antecedentes, donde determinan como ola de diseño aquellas con incidencia SSE.

3.3 Estudio de valores extremos

Una interpretación del período de recurrencia es considerarlo como “el lapso de tiempo promedio que separa dos eventos de determinada magnitud”. Es decir, si determinamos que la altura de ola significativa asociada a un período de recurrencia de 50 años es de 5 metros, es de esperar que en el transcurso de 1 milenio se produzcan 20 eventos con alturas de ola de 5 metros o mayores. Nótese que no significa que el evento se producirá cada 50 años. De hecho, la probabilidad que en un lapso cualquiera de 50 años se produzca el evento con un período de recurrencia de 50 años es sólo del 63,4%.

Los análisis estadísticos sólo pueden realizarse sobre poblaciones homogéneas, por ello los datos se dividen según el sector de incidencia, asumiendo, por ejemplo que las olas que vienen del norte, tienen orígenes y características distintas a aquellas que inciden desde el sur. Para este trabajo, se estudian 4 direcciones de incidencia, NNE, ENE, ESE y SSE. Es decir, se agrupan las olas que inciden entre el Norte y el Noreste en la dirección de incidencia NNE, se agrupan las olas que inciden entre el Noreste y el Este en la dirección de incidencia ENE y así sucesivamente. En el análisis final, podría utilizarse otro criterio, como por ejemplo agrupar las olas según las direcciones N, NE, E, SE y S.

Una duda usual al realizar este tipo de análisis, es considerar si es que las olas debieran separarse además por estaciones (o meses). ¿La población de olas generadas durante el invierno y la población de olas generadas durante el verano son homogéneas entre sí?. El problema de una excesiva discriminación, es que cuantas más categorías se tenga, (por ejemplo olas del NNE pero discriminadas según verano, otoño, invierno y primavera) menos datos se dispone para cada categoría, lo que dificulta el análisis estadístico.

Otro aspecto a considerar es sobre qué tipo de información debe trabajarse. ¿Se deben analizar las olas de vientos locales, las olas oceánicas o las olas generadas por la combinación de ambas.?

Además, debe considerarse que se están estudiando los eventos extremos, por lo que las olas habituales no debieran ser tenidas en cuenta. Por ello se dispone de dos métodos de análisis, el de los “máximos anuales” y el de los “valores sobre el umbral”. En el primero de los métodos, de cada año se elige la ola más alta, y el análisis se realiza sobre estos valores. Puede discutirse por que utilizar un período de un año, cuando podría utilizarse un período de un mes, por ejemplo, o considerar cada estación un período.

Una fuerte crítica a este enfoque, es que deja fuera del análisis a una gran cantidad de datos (Mendez, 2006), ya que de cada año sólo se considera un valor. Si sólo se dispone de una serie temporal de 10 años, se trabajará únicamente con 10 datos, que en general se considera una cantidad baja para obtener resultados fiables. Por ello otros autores prefieren usar el método de “valores sobre el umbral”, en el que se decide un valor de altura de ola que define la separación entre olas habituales y olas de eventos extremos. Se utilizan todas las olas que superan el valor del umbral establecido, con lo que se dispone de muchos más datos para realizar los análisis estadísticos. Este método presenta como desventaja que no existe un criterio definido para establecer el valor del umbral (Bakali, 2021), ya que distintos autores presentan diversos criterios, no siempre concordantes entre sí.

En este trabajo se ha adoptado el método de “valores sobre el umbral”, según la recomendación del “IAHR Working Group on Extreme Wave Analysis” (Mathiesen et al, 1994). Para determinar el valor de umbral, se ha ejecutado el procedimiento para distintos valores de este parámetro, y se considera que el mejor ajuste es aquel que proporciona el entorno más estable para los valores de altura

significativa y bandas de confianza, criterio similar al indicado en (Mazas, 2011).

Hasta el momento, ha sido posible procesar las olas incidentes del ESE y del SSE. Se han priorizado estas direcciones ya que los antecedentes indican que los eventos más importantes son los provenientes de estos cuadrantes. Se ha analizado dos tipos de datos, el de "altura de ola significativa combinada de olas locales y oceánicas, y el de "altura de ola significativa de olas locales", es decir, los datos que se generan al considerar la combinación de oleajes generados por olas locales y olas de tormenta, y los datos que surgen de estudiar las olas generadas por vientos locales.

Resulta para olas generadas por viento provenientes del SSE:

período de retorno	Hs	i.c. 95%	
		inferior	superior
1	3,53	3,08	3,79
2	4,18	3,58	4,71
5	5,05	4,25	6,03
10	5,71	4,78	7,09
25	6,59	5,47	8,56
50	7,25	6,00	9,72
100	7,92	6,53	10,91
250	8,80	7,22	12,61
500	9,46	7,74	13,99
1000	10,13	8,26	15,32

Cuadro 1: Altura de ola significativa de olas de viento desde el SSE.

Respecto al ajuste de la función de distribución de probabilidades se encuentra que es adecuada:

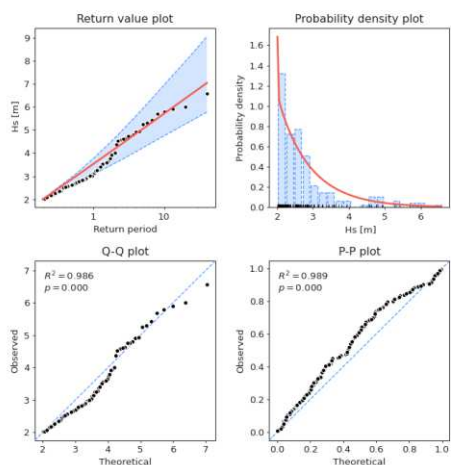


Figura 5: Ajuste de olas generadas por vientos

Los gráficos muestran que el ajuste es correcto, ya que tanto los gráficos "probabilidad-

probabilidad" y "cuantil-cuantil", como los "coeficientes de determinación" (R^2) resultan muy aceptables. La función de densidad de probabilidades también se ajusta adecuadamente a los histogramas de los datos. Para el caso de las olas de viento, se obtiene para un período de recurrencia de 50 años un valor de altura significativa de 7,25 metros, con un intervalo de confianza del 95% comprendido entre los valores 6,0 metros y 9,72 metros. Desde un punto de vista ingenieril, el intervalo de confianza resulta muy amplio. No se ha podido comparar estos valores con antecedentes, porque en general las publicaciones no indican este parámetro, aunque se menciona que la escasa longitud de las series utilizadas provoca cierta incertidumbre.

También se ha estudiado los valores de altura de ola significativa asociados a distintos períodos de recurrencia para la combinación de olas locas y oceánicas. Resulta:

período de retorno	Hs	i.c. 95%	
		inferior	superior
1	3,18	3,10	3,26
2	3,44	3,34	3,57
5	3,76	3,61	4,02
10	4,00	3,79	4,41
25	4,30	4,02	4,92
50	4,53	4,18	5,33
100	4,75	4,33	5,75
250	5,04	4,54	6,30
500	5,25	4,68	6,70
1000	5,46	4,81	7,14

Cuadro 2: Altura de ola significativa de olas combinadas desde el SSE.

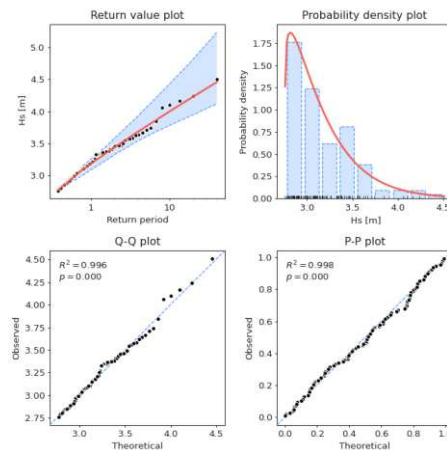


Figura 5: Ajuste de olas combinadas

Si bien el ajuste es aún mejor que en el caso anterior, queda una duda al observar los resultados y es que las alturas de olas predichas resultan menores que los valores que se determinan trabajando con olas generadas por viento. No se encuentra hasta el momento explicación a estos resultados, pero es de destacar que en los antecedentes se determina que las alturas de olas extremas resultan mayores para las olas generadas por vientos locales que para olas oceánicas, circunstancia que tiene alguna similitud con lo encontrado en el presente trabajo.

4 CONCLUSIÓN

Como se expone en los puntos anteriores, a partir de datos obtenidos de mediciones durante un período arbitrario, existe una base teórica rigurosa para calcular los eventos relacionados con un período de recurrencia dado. Sin embargo, para aplicar esta teoría es necesario tomar una serie de decisiones relativamente discrecionales, por lo que a partir de los mismos datos y la misma teoría, se puede llegar a resultados distintos.

Por esta razón, y dado lo incipiente del análisis, hasta el momento los resultados no son claros. Si bien para algunos de los estudios realizados se ha llegado a valores similares a aquellos indicados en los antecedentes, otros estudios realizados indican valores inferiores, por lo que con los análisis parciales realizados se estima que los valores de uso habitual en la práctica profesional para la región (altura de ola significativa proveniente del Sur del orden de 8,5 metros para período de retorno de 50 años) podría considerarse un límite superior para los valores de diseño.

Se continúa con un análisis de mayor extensión y profundidad a los efectos de obtener mayores precisiones respecto al clima de olas en la Provincia del Chubut.

5 REFERENCIAS

Bakali, Hosny, Ismail AOUCHE, and Najat SERHIR, 2021, The problem of determining the threshold for statistical analysis by the POT method, Application to wave data on the Moroccan Atlantic coast, E3S Web of Conferences 314, 04002 WMAD21 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131404002>

Cardini, Julio, 2008, Estudios Oceanográficos Costeros en el Puerto de Camarones, V Congreso de la Asociación Argentina de Ingenieros Portuarios, DOI:10.13140/2.1.5165.9209

CCyA Ingeniería, 2015, Estudio de Impacto Ambiental – Obras de Protección Contra la Erosión en Playa Unión, realizado para la Dirección General de Puertos, Subsecretaría de Transporte Multimodal, Ministerio de Gobierno, Derechos Humanos y Transporte Provincia de Chubut

Goda, Yoshimi, 2000 Random Seas and Design of Maritime Structures, <https://doi.org/10.1142/3587>

Mathiesen, M., Goda, Y., Hawkes, P.J., Mansard, E., Martín, M.J., Peltier, E., Thompson, E.F. Van Vledder, G., 1994. Recommended practice for extreme wave analysis, Journal of Hydraulic Resources. 32 (6), 803–814.

Mazas, Franck, Luc Hamm, 2011, A multi-distribution approach to POT methods for determining extreme wave heights, Coastal Engineering 58, 385–394

Méndez, Fernando J., Melisa Menéndez, Alberto Luceño, and Inigo J. Losada, 2006, Estimation of the long-term variability of extreme significant wave height using a time-dependent Peak Over Threshold (POT) model, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 111, C07024, doi:10.1029/2005JC003344