

Ayala Victor¹, Fiore Mónica^{1,2,3}, Oreiro Fernando^{1,2,3}, D'Onofrio Enrique^{1,2,3}, Grismeyer Walter^{1,3}

¹Escuela de Ciencias del Mar, Instituto Universitario Naval, Av. Antártida Argentina 425 (C1104AAL), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

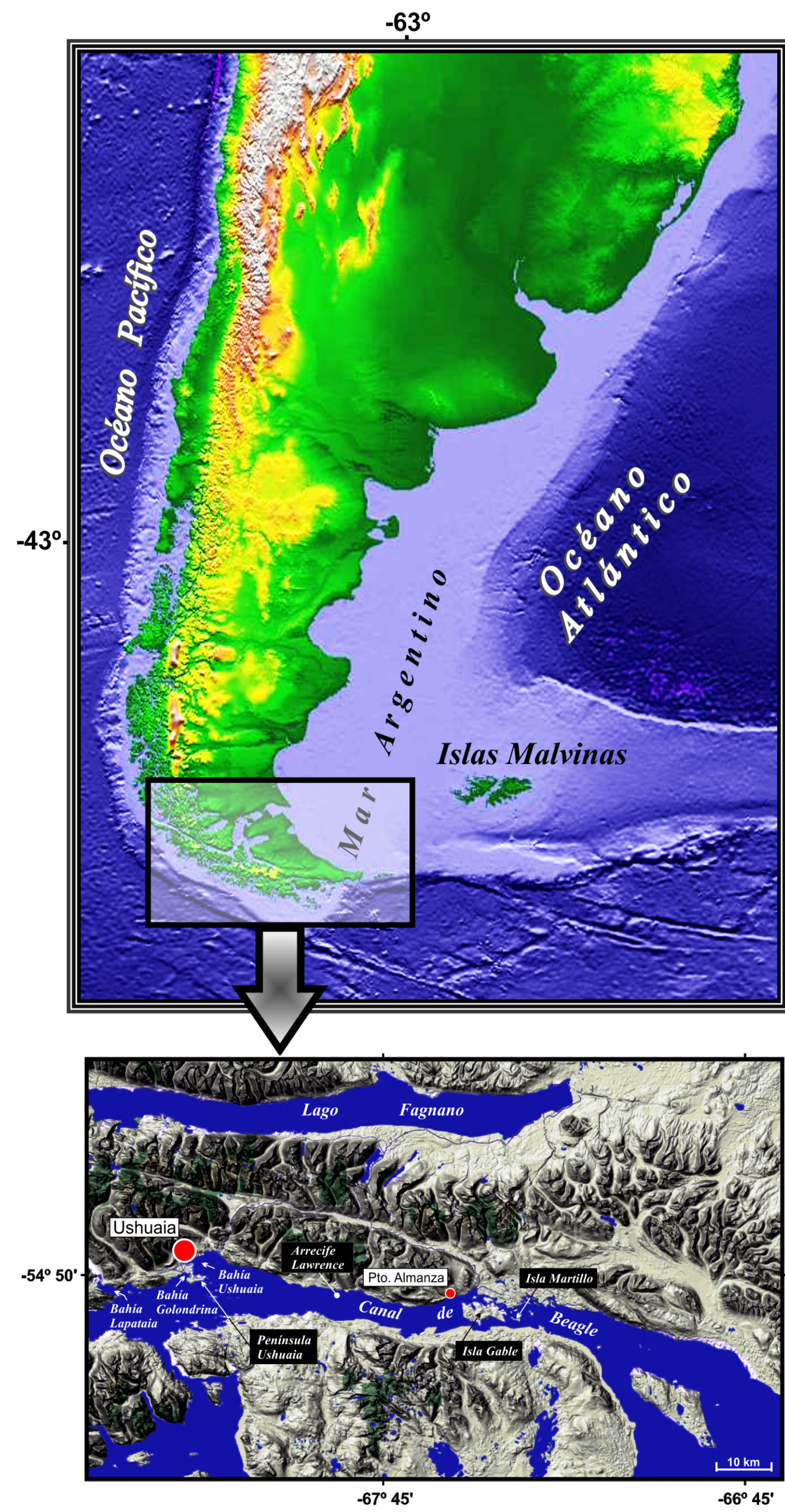
²Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Av. Las Heras 2214 (C1127AAR), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

³Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa, Av. Montes de Oca 2124 (C1270ABV), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN

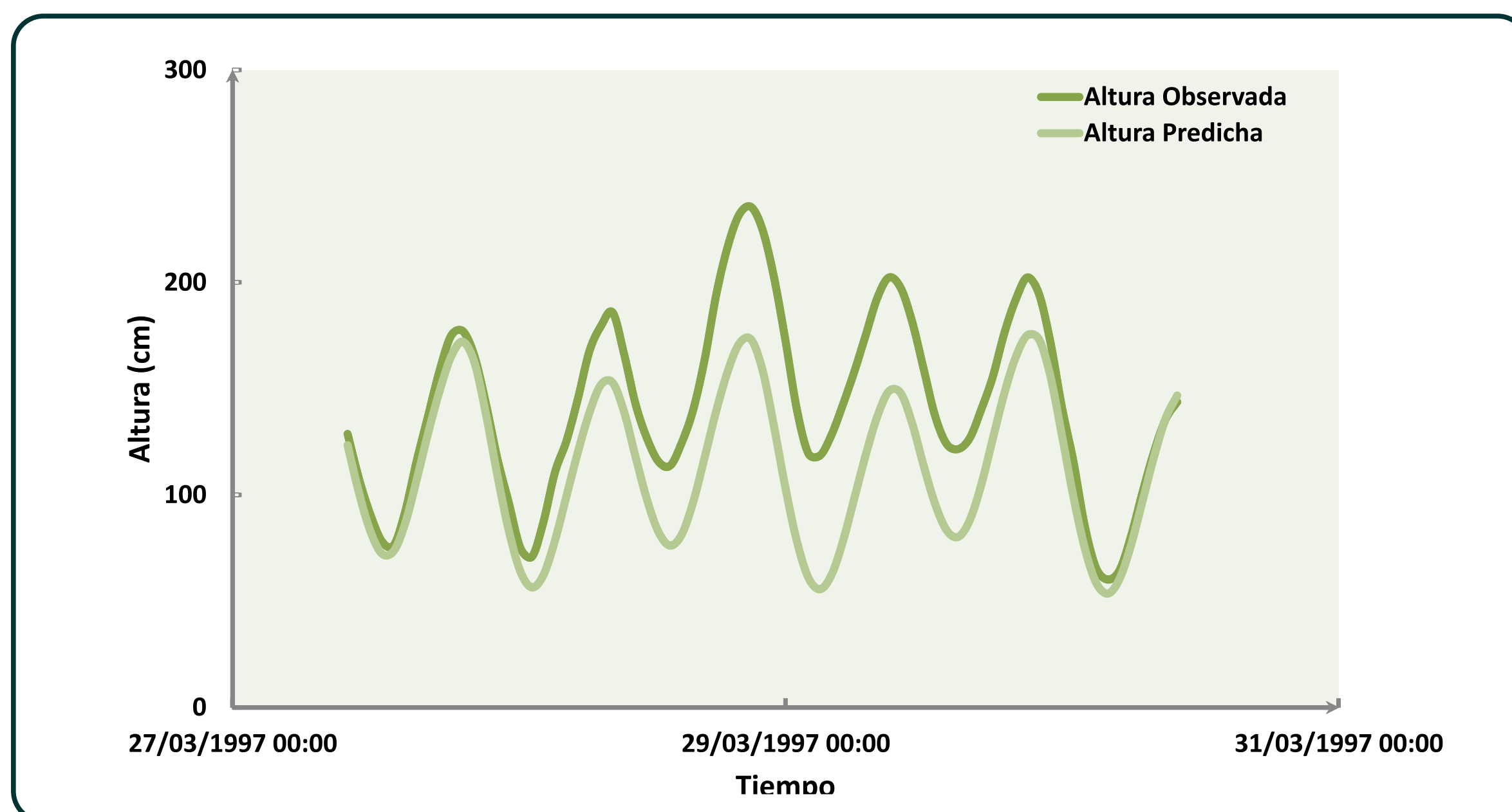
El canal Beagle ubicado al Sur de la República Argentina conecta los Océanos Pacífico y Atlántico a los 54° 53' S entre los 66° 30' W y los 70° 00' W. El canal tiene una extensión de 180 km y su profundidad no supera los 300 m. Sobre la costa Norte del canal Beagle se ubica la ciudad de Ushuaia, capital de la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur. A su puerto arriban buques de transportes navales, barcos comerciales, turísticos y científicos y constituye un punto de escala logística para seguir rumbo hacia la Antártida y viceversa. Dada la importancia estratégica de la ciudad de Ushuaia, en este trabajo se estudia la influencia de valores extremos de ondas de tormenta y se evalúa el impacto de las mismas a través de la utilización de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Un MDE es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de elevaciones referidas a un origen vertical específico. Para la generación del MDE se utiliza información topográfica, imágenes satelitales de la zona y datos de marea. Con el objeto de aplicar sobre el modelo los valores extremos de ondas de tormenta, se utiliza como origen vertical al Nivel Medio del Mar (NMM). La altura de la onda de tormenta depende principalmente de la intensidad y dirección del viento.

Las condiciones meteorológicas son afectadas por el camino y la velocidad que el sistema de presión va atravesando sobre la superficie del mar. Cuando los vientos empujan el agua hacia la costa, tienden a elevar la superficie de la misma. Si esta elevación coincide con una pleamar, los efectos se amplifican, siendo el impacto mucho mayor sobre la costa si la pleamar es de sicigias. Las ondas de tormenta se calculan mediante filtrado numérico de alturas horarias del nivel del mar registradas en la estación mareográfica Ushuaia por el Servicio de Hidrografía Naval. Durante el periodo 1972-1990 se registró marea con un mareógrafo analógico a flotador. En el año 1991 este equipo fue reemplazado por uno de nueva generación (Next Generation Water Level Measurement System) el que funcionó hasta Mayo de 2006. Utilizando la distribución de valores extremos generalizada (GEV) se estima una altura de onda de tormenta de 69 cm para un periodo de retorno de 100 años. El peor de los escenarios será cuando esta onda de tormenta se combine con la pleamar astronómica más alta predicha para un periodo de 19 años (Highest Astronomical Tide, HAT). En este caso el HAT calculado referido al NMM fue de 127 cm, luego la altura a representar en el modelo digital de elevación, referida al NMM, es 196 cm.

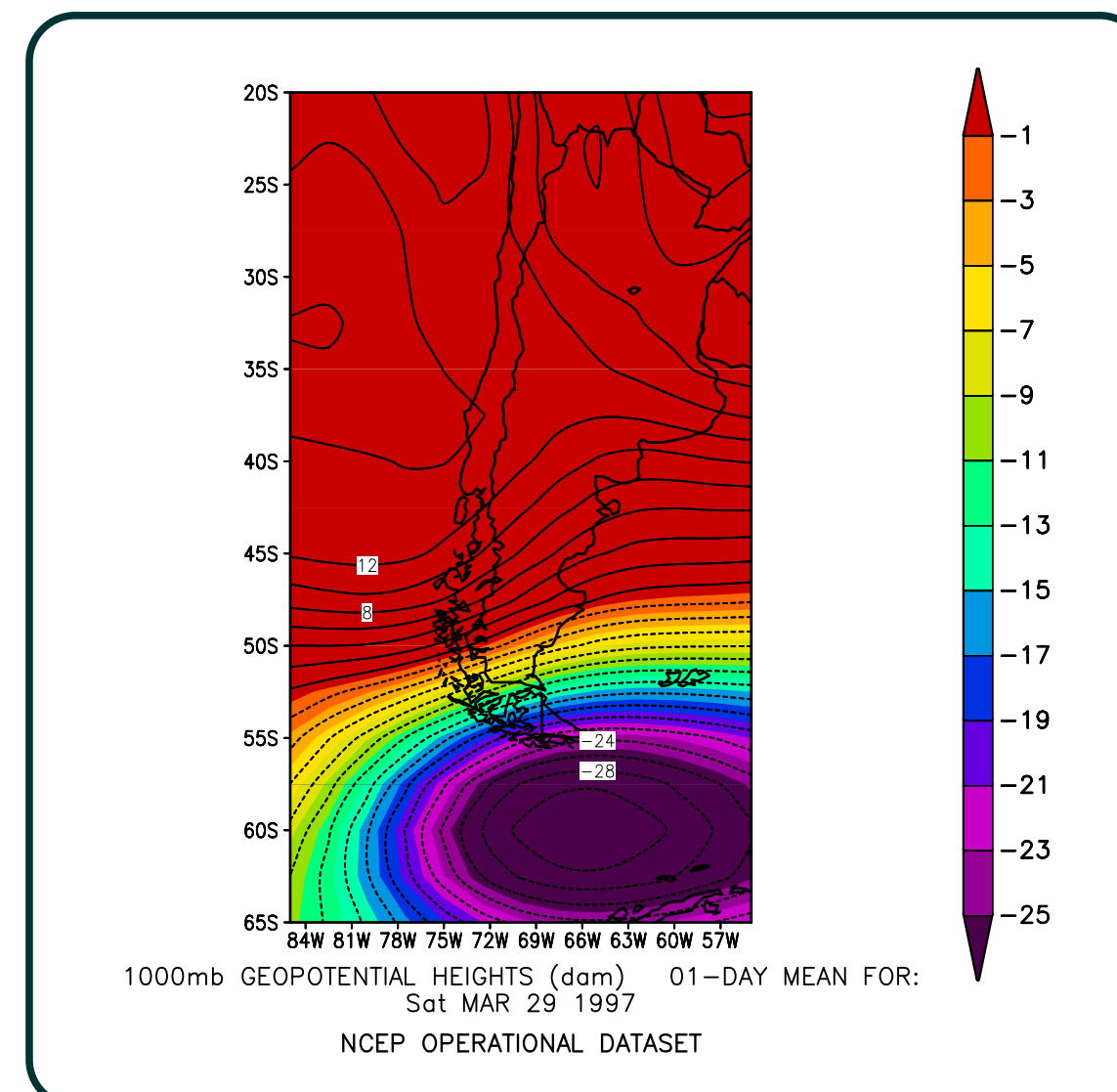
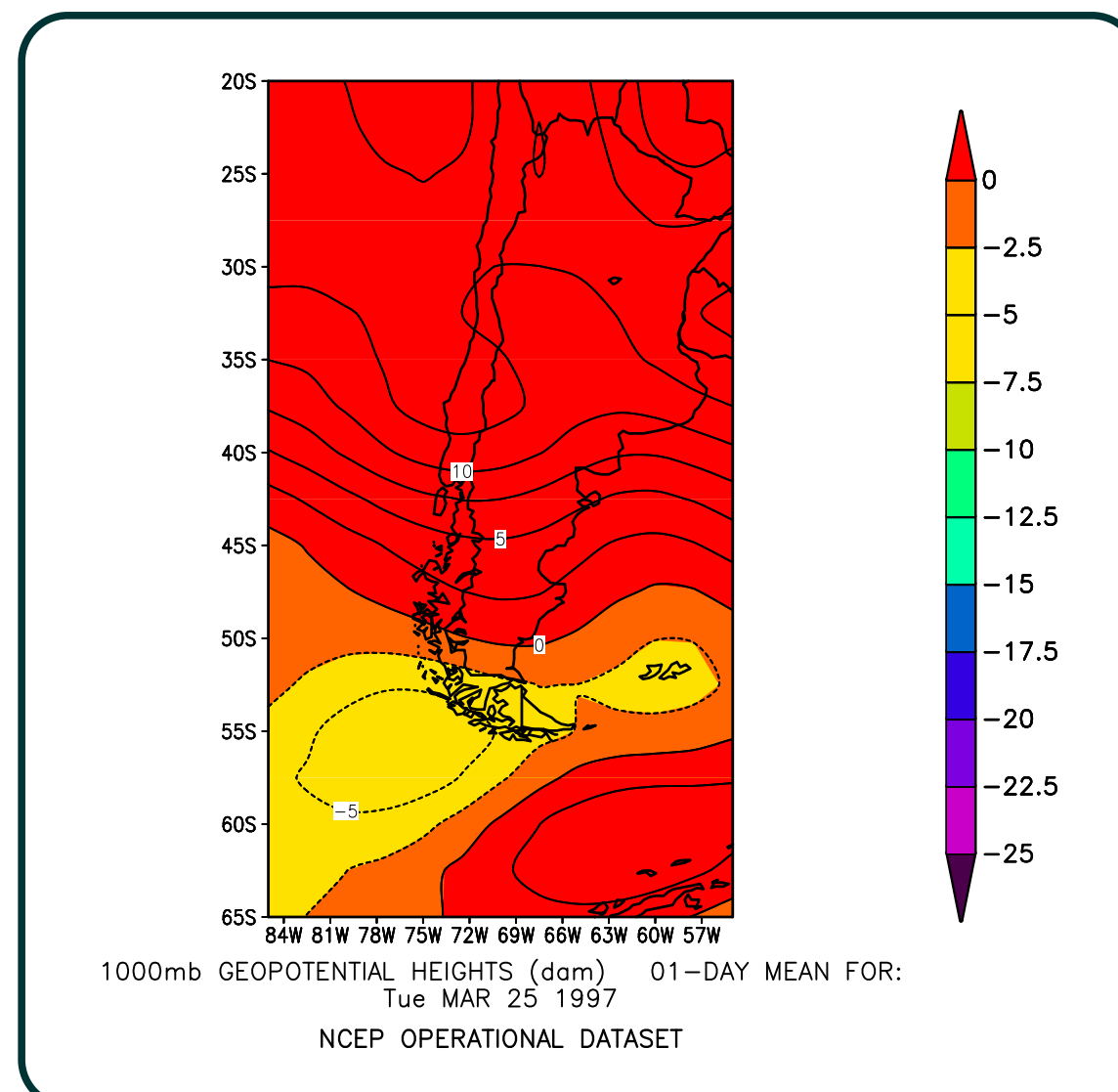


ONDAS DE TORMENTA

Son las modificaciones del nivel del agua producidas por cambios bruscos de la presión atmosférica y efecto de arrastre del viento, que alteran a la marea astronómica.



La mayor onda de tormenta durante el periodo estudiado ocurrió el día 29 de marzo de 1997 con una altura de 67.23 cm a las 02:00. Para ese instante la altura observada fue de 119.4 cm referida al cero del mareógrafo. La mayor altura del evento (235 cm), referida al mismo cero se registró el 28 de marzo a las 21:00.



Campo medio de altura geopotencial de 1000 hp para el 29 de marzo de 1997 antes y después del evento.

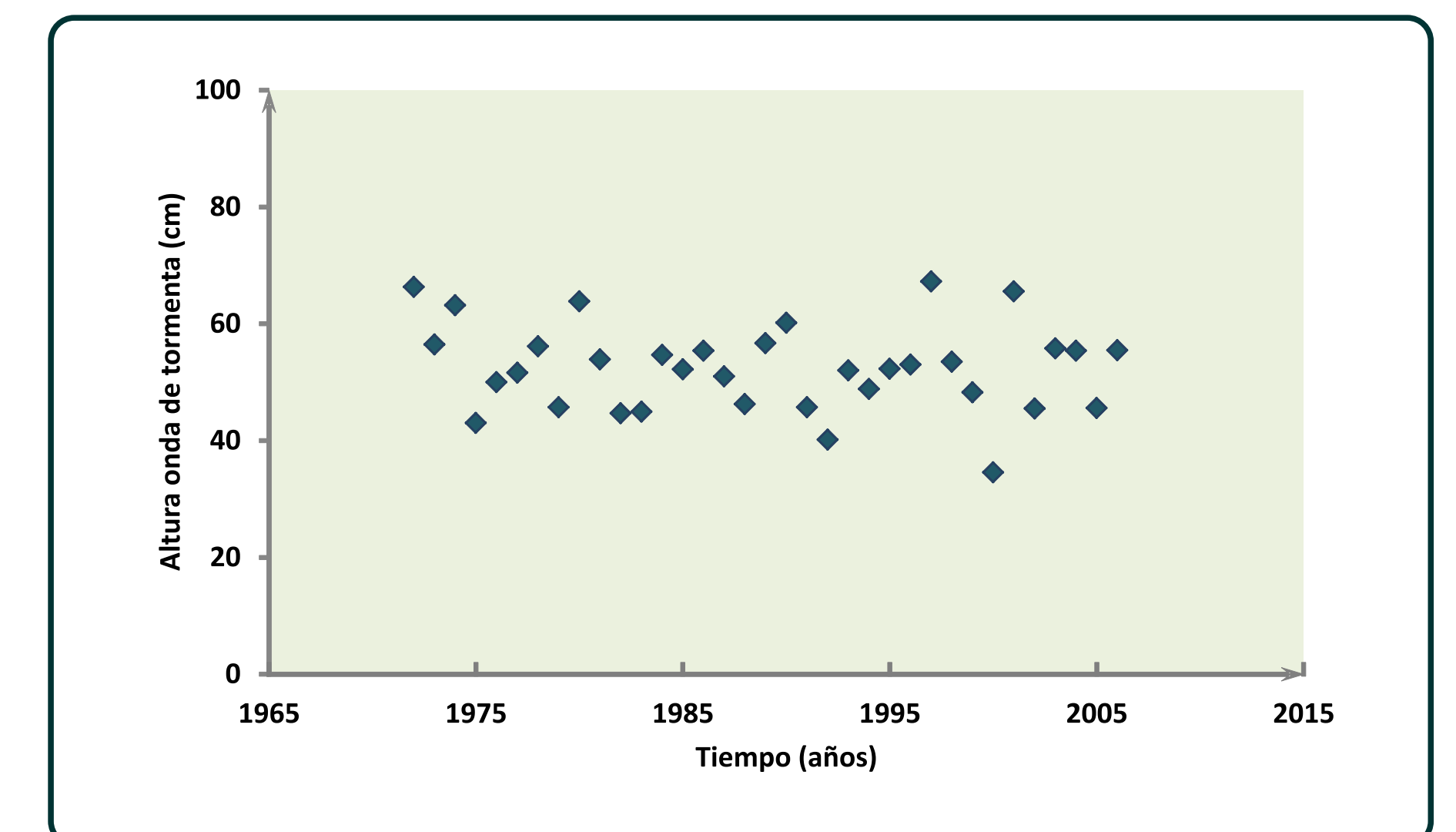
DATOS

Alturas horarias registradas en la estación mareográfica Ushuaia correspondientes al periodo 1972 - 2006.



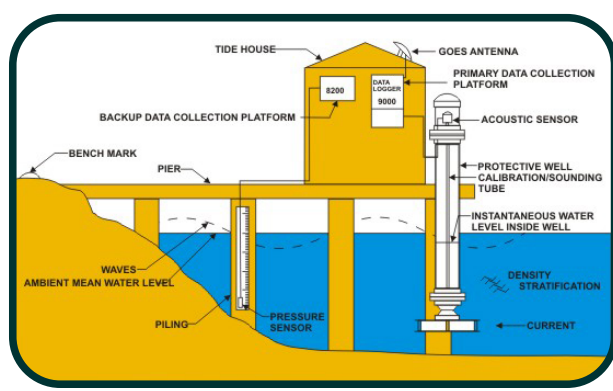
Para el cálculo del GEV se utiliza

Onda de Tormenta Máxima Anual



Extremos Anuales de Onda de Tormenta

Estación Mareográfica Ushuaia



Esquema de una estación de Nueva Generación.



MODELO DIGITAL DE ELEVACION

Un MDE describe la altimetría de una zona mediante un conjunto de datos acotados. Para la generación del MDE se utiliza información topográfica, imágenes satelitales de la zona y datos de marea. Con el objeto de aplicar sobre el modelo los valores extremos de ondas de tormenta, se utiliza como origen vertical del mismo el Nivel Medio del Mar. Se considera el peor de los escenarios, es decir cuando la máxima onda de tormenta estimada para un periodo de retorno de 100 años (69 cm) se combina con la pleamar astronómica más alta predicha para un periodo de 19 años (Highest Astronomical Tide, HAT). En este caso el HAT calculado referido al NMM fue de 127 cm, luego la altura a representar en el MDE referida al NMM, es 196 cm.



Temporal de viento ocurrido en Ushuaia el 09/08/2014.



CONCLUSIONES

Si bien en la zona se registran vientos muy intensos, dadas las características geográficas de la ubicación de Ushuaia, las ondas de tormenta no llegan a ser de la magnitud de las obtenidas en Buenos Aires y Mar del Plata. La onda de tormenta solo en casos extraordinarios afectaría las zonas mas próximas a la costa no alcanzando a inundar por marea la ciudad. En la Figura superior izquierda se observa la acción del temporal de viento, con ráfagas que alcanzaron más de 100 km/h, el que provocó grandes destrozos convirtiéndose en un fenómeno histórico por sus inusuales características para la región. A pesar de esto la onda de tormenta no llegó a anegar la ciudad.

Distribución Acumulada GEV

$$F_X(x) = e^{-\left(1+\gamma\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right)^{\frac{1}{\gamma}}}$$

Para $1 + \gamma\frac{(x-\mu)}{\sigma} > 0$ siendo los parámetros :

$\mu \in R$ locación

$\sigma > 0$ escala

$\gamma \in R$ forma

Si $\gamma \rightarrow 0$, $\gamma > 0$ y $\gamma < 0$

corresponde a Gumbel, Frechet o Weibull respectivamente.

La estimación de los parámetros de la distribución se realiza aplicando el Método de Máxima Verosimilitud a las series estacionarias de Onda de Tormenta. Los intervalos de confianza se calculan utilizando el Método Delta que estima la varianza de los periodos de retorno. La distribución obtenida es Tipo III o Weibull.

Periodo de Retorno (años)	Altura (cm)
50	67.0
100	69.0
500	71.0

