



PARTE 4

METOCEAN GENERAL



Análisis de Valores Extremos

El análisis de valores extremos (extremes values analysis - EVA) se refiere al uso de la teoría de valores extremos (extremes values theory - EVT) para analizar datos donde el interés está en eventos poco frecuentes o de baja probabilidad. Por ejemplo, precipitación máxima anual, excesos de temperatura para un umbral alto, velocidades del viento superiores a un umbral alto, etc.

Es posible que no exista una distribución apropiada para ajustar eventos extremos de alguna variable de interés, pero si hay alguna debe provenir de una de estas dos familias:

- Generalized Extreme Value (GEV) family (block maxima)
- Generalized Pareto Distribution (GPD) family (peak over threshold - POT)

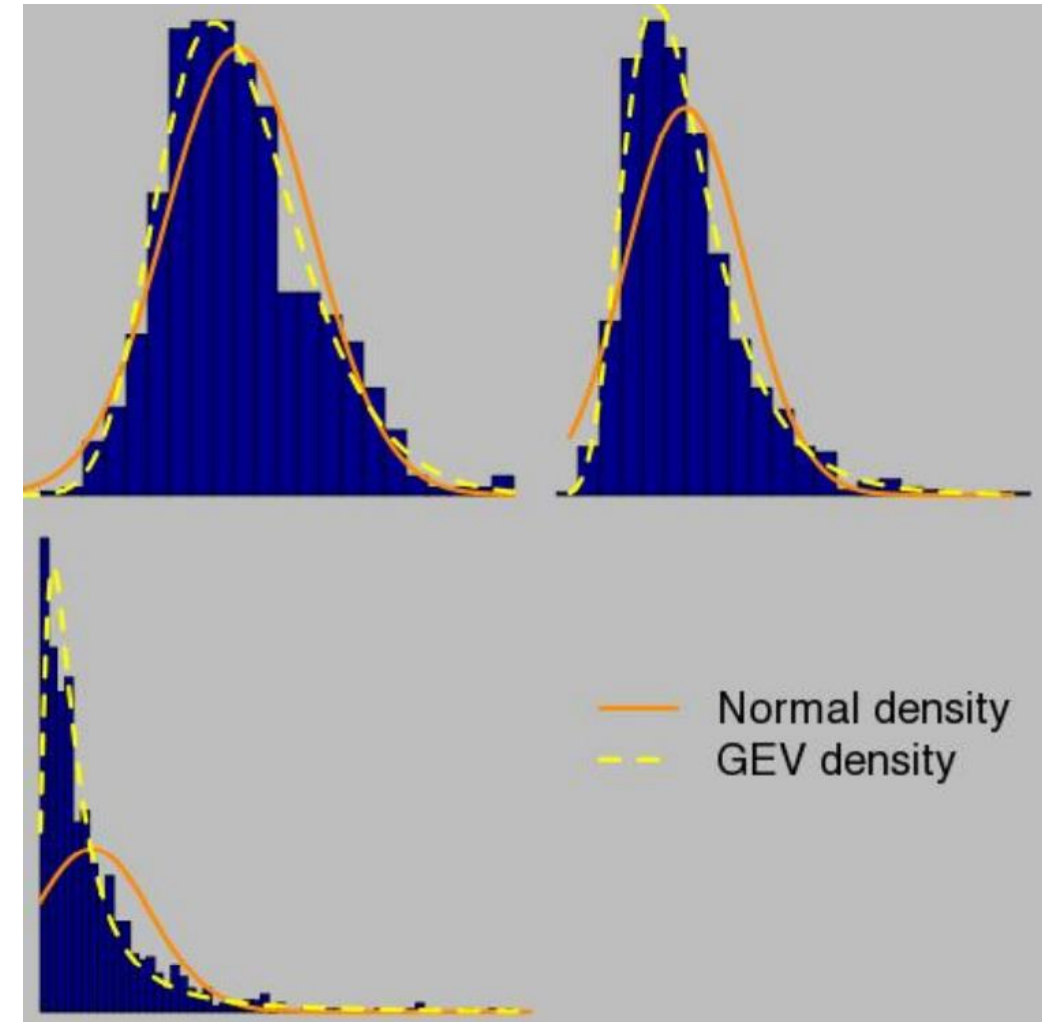
De todas formas, las dos familias están relacionadas.

Análisis de Valores Extremos



Algunas abreviaturas de utilidad:

- EVA Extreme Value Analysis
- EVD Extreme Value Distribution
- EVT Extreme Value Theory
- df distribution function
- GEV generalized extreme value
- GPD generalized Pareto distribution
- PP point process
- POT peak-over-threshold
- qq-plot quantile-quantile plot
- iid independent and identically distributed
- μ location parameter
- σ scale parameter
- ϕ logarithm of the scale parameter ($= \ln(\sigma)$)
- ξ shape parameter (> 0 implies a heavy tail df)
- MLE Maximum Likelihood Estimation
- AIC Akaike Information Criterion
- BIC Bayesian Information Criterion



Análisis de Valores Extremos



A veces, los analistas necesitan saber la probabilidad de que se produzca un valor extremo concreto. Por ejemplo, los oceanógrafos necesitan analizar el nivel del mar durante un periodo de 100 años para poder construir un muro marino que soporte todos los niveles del mar probables, de modo que el agua no lo supere.

Por desgracia, a veces los datos sobre el nivel del mar sólo están disponibles para un periodo mucho más corto, por ejemplo **30 años**. Esto significa que tienen que estimar qué niveles del mar más altos podrían ocurrir en los próximos 100 años cuando sólo tienen un historial de 30 años. En términos estadísticos, las estimaciones deben ser las mejores conjeturas sobre la información histórica dada.

El ajuste global es un método que se utiliza con bastante frecuencia para estimar qué tipo de función de distribución representa los datos. Este método trata de ajustar todos los datos históricos a varias distribuciones teóricas y, a continuación, elige la mejor entre ellas, que depende de varios criterios.

Cuando los analistas se ocupan del evento extremo, tienen que ser conscientes del hecho de que las observaciones extremas son escasas. Así, el ajuste global, que utiliza todos los datos históricos, funcionaría bien en la zona central de la distribución, pero representaría mal la zona de la cola. Afortunadamente, existe un **método que se ocupa específicamente de los eventos extremos, que es la teoría del valor extremo (EVT)**.

Análisis de Valores Extremos



La **EVT** hace el mejor uso de cualquier dato sobre fenómenos extremos y puede hacerlo mucho mejor que el ajuste general. La teoría del valor extremo (EVT) es única como herramienta estadística, ya que **desarrolla modelos y técnicas para describir el evento inusual en lugar de lo habitual**. Ha sido elegida para analizar diversos fenómenos extremos y se ha aplicado en muchos campos, como la climatología, la hidrología, las finanzas y los seguros. En realidad, los sucesos extremos ocurren raramente, pero, sin embargo, una vez que ocurren, tienen un impacto catastrófico, por lo que el estudio de los eventos extremos es muy importante.

El problema de problema al analizar los eventos extremos es la escasez de datos. Esto significa que a menudo se necesitan estimaciones de datos de lo que ya se ha observado. En otras palabras, hay que predecir la ocurrencia de eventos raros fuera del rango de datos disponibles.

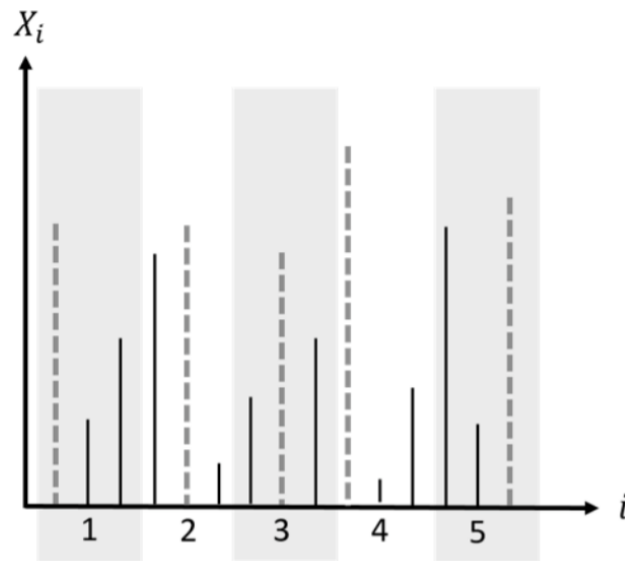
La teoría del valor extremo proporciona una clase de modelos que permiten extrapolar datos observados a no observados.

Además, la EVT construye un modelo estadístico que se preocupa sólo de las observaciones extremas con valores inusualmente grandes, por lo que puede proporcionar una mejor estimación del área de la cola de una distribución en comparación con el método de ajuste general.

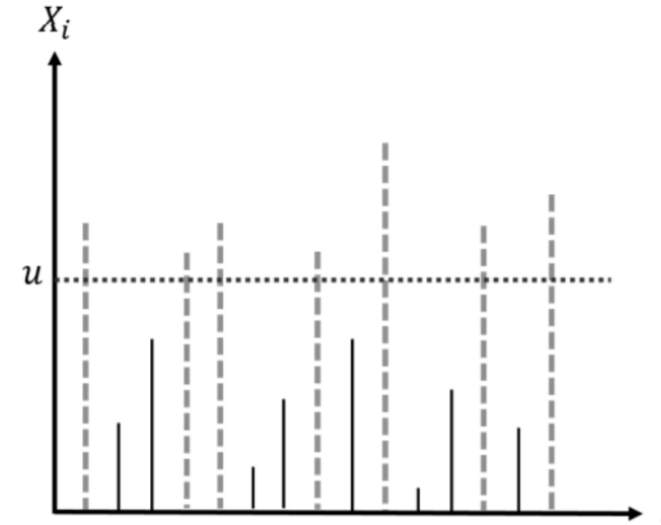
Análisis de Valores Extremos



En la EVT hay dos modelos diferentes, el de máximos por bloque (block máxima) y el de picos sobre el umbral (POT). Estos dos modelos se diferencian por la forma en que cada uno de ellos clasifica las observaciones que se considerarán como sucesos extremos y que luego se utilizarán en el proceso de análisis de datos.



(a)



(b)

FIGURE 1. Model illustration for EVT (a) block maxima model and (b) peak over threshold model. The observation that classified as extreme event is indicated by dash-line.

Análisis de Valores Extremos



En el modelo de **máximos por bloques**, las muestras se toman de algún período en particular, por ejemplo, semanal, mensual o anual, entonces el valor de observación máximo o mínimo de cada período se clasificará como una observación extrema (Fig. 1a). Por otro lado, los modelos de pico sobre umbral necesitan un umbral predeterminado, digamos u , en lugar del periodo de observación de las muestras tomadas. En el **POT**, una observación se clasifica como observación extrema si supera el umbral dado. Por lo tanto, el mismo conjunto de datos que se analiza utilizando un modelo diferente puede dar lugar a resultados diferentes (Fig. 1b).

El modelo de máximos por bloque se utiliza mucho en el análisis de datos estacionales, como los datos climatológicos e hidrológicos. El mayor reto del modelo de máximos por bloque es determinar el tamaño de los bloques. Este modelo se suele utilizar para determinar la distribución de los máximos. Por su parte, el modelo POT se utiliza con frecuencia en el análisis de datos financieros y de seguros, que tienden a ser independientes del tiempo. El reto al que se enfrenta el modelo POT es determinar el umbral de forma que no sea demasiado alto ni demasiado bajo.

Cuando se trata de eventos extremos, los analistas a menudo necesitan ser capaces de determinar la distribución del valor máximo o que se suele denominar como máximos. En general, es importante estimar la probabilidad de que el valor máximo de un conjunto de muestras sea inferior o igual a un valor determinado. Se utilizará el modelo de máximos en bloque para estimar la distribución de los máximos.

Análisis de Valores Extremos



Fisher y Tippett trataron de determinar la distribución de los máximos sin suponer que la variable aleatoria sigue una distribución determinada. Por tanto, este teorema puede utilizarse independientemente de la forma de la distribución.

Este teorema garantiza que, si la distribución de los máximos transformados converge a alguna distribución no degenerada, entonces convergería a la distribución GEV para alguna ψ .

Además, la distribución **GEV** sirve como representación única de los tres tipos de distribuciones de valores extremos, que son Gumbel, Frechet y Weibull.

GEV – Ajusta a los datos obtenidos por block máxima

GEV

Three parameters: **location**, **scale** and **shape**.

$$\Pr\{X \leq z\} = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{z - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

Análisis de Valores Extremos - GEV

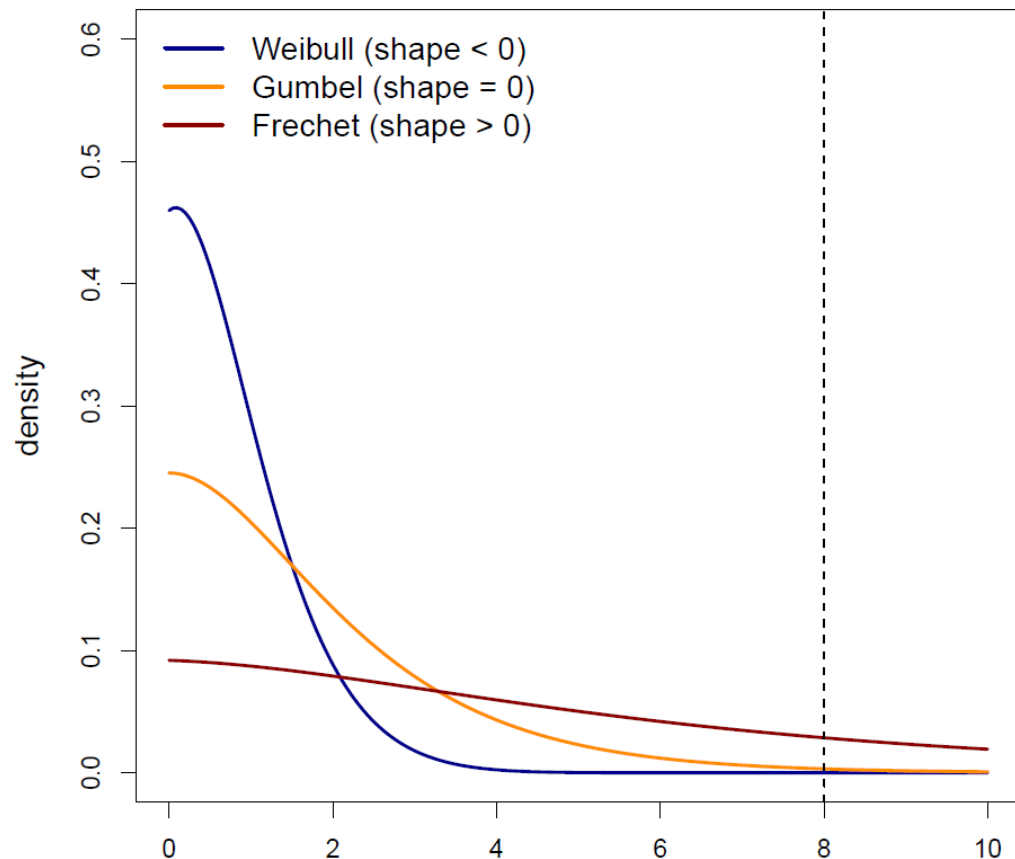


Three parameters: **location**, **scale** and **shape**.

$$\Pr\{X \leq z\} = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{z - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

Three types of tail behavior:

1. Bounded upper tail ($\xi < 0$, Weibull),
2. light tail ($\xi = 0$, Gumbel), and
3. heavy tail ($\xi > 0$, Fréchet).



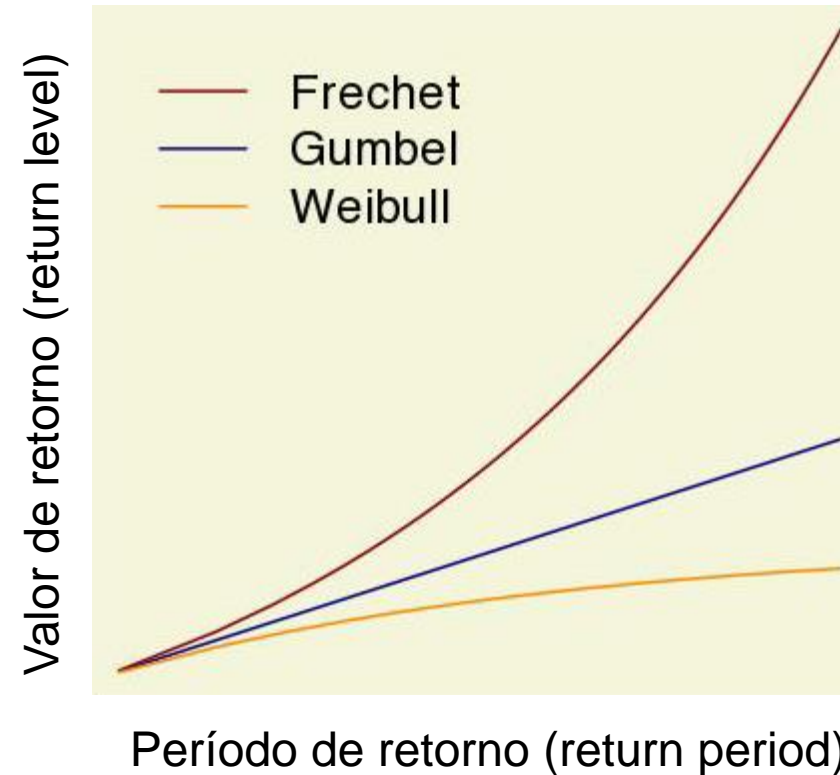
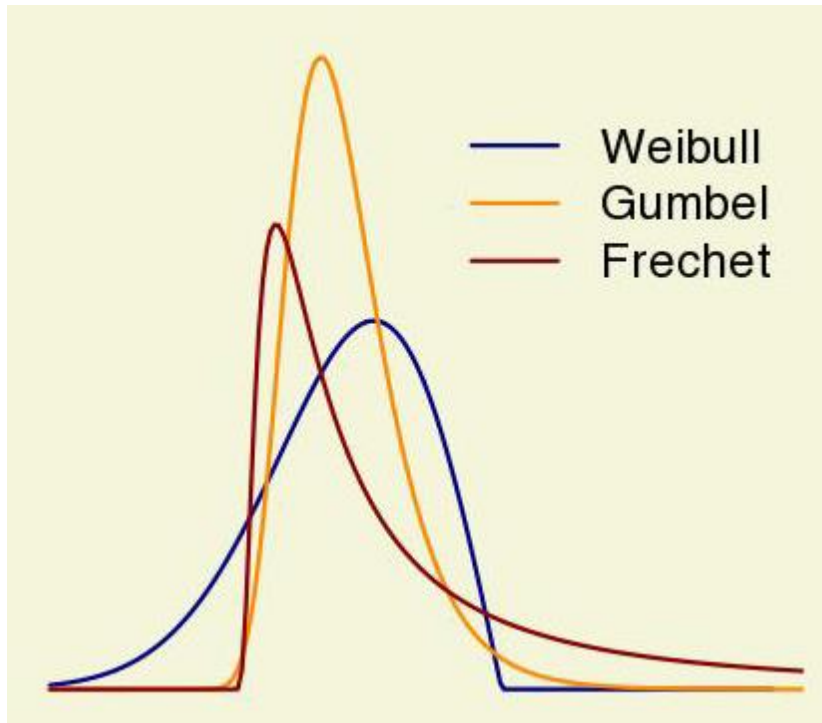
Example of **generalized extreme value (GEV)** probability density functions for each of the three types of tail behavior. Scale parameter varies to magnify differences in the tail behavior. Dashed vertical line shows upper bound of the (reverse) Weibull distribution. Location parameter is fixed at 0, and different values of this parameter would simply shift the densities shown left or right.

Análisis de Valores Extremos



Idea del cálculo de valores extremos

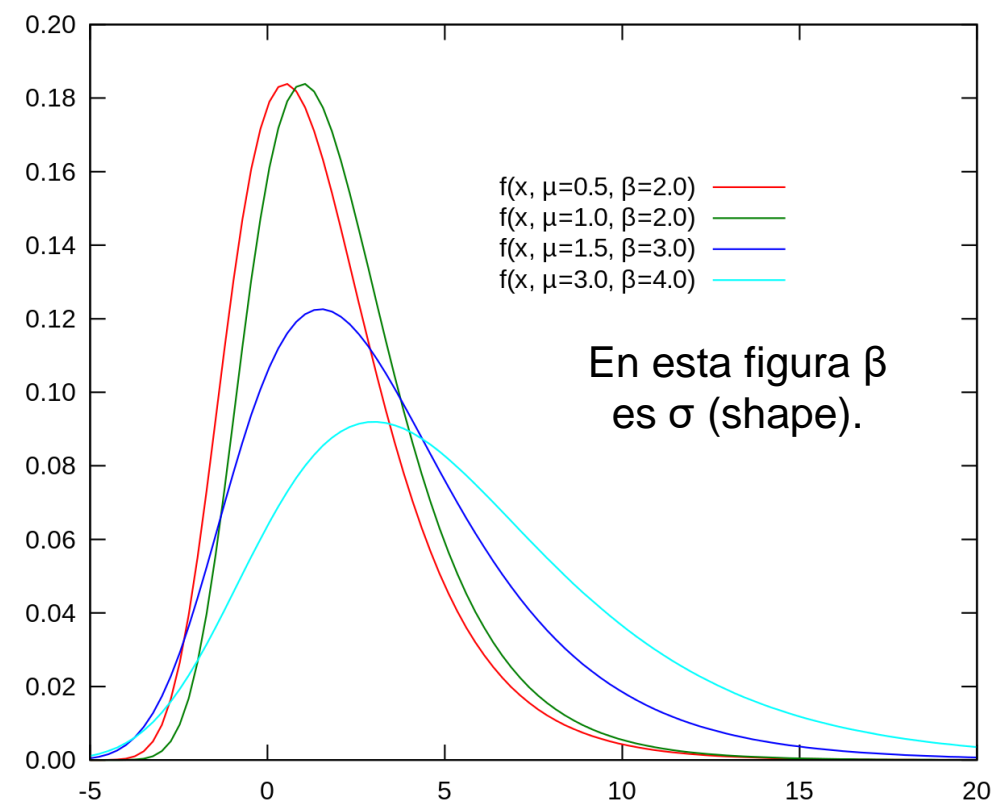
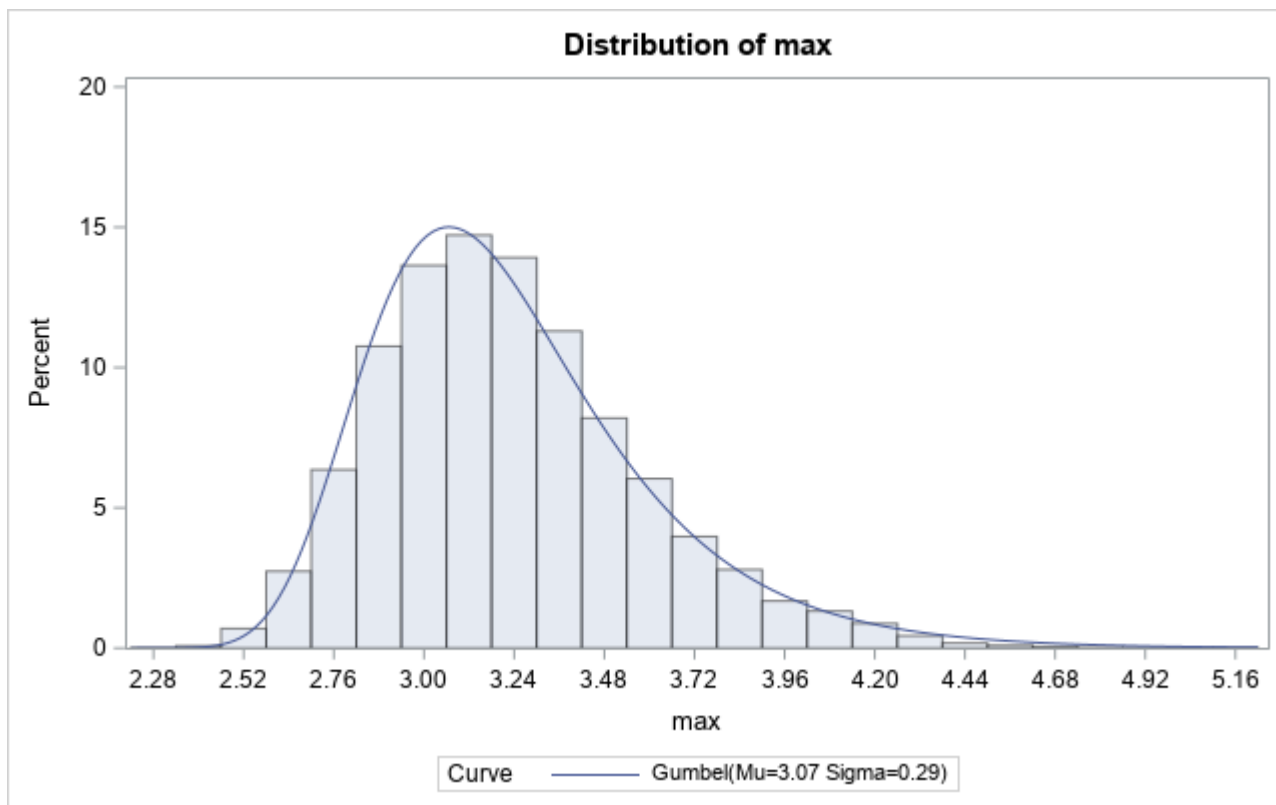
Las distribuciones teóricas se utilizan para predecir que sucede a tiempos que superan la longitud temporal de la serie de tiempo analizada. Por ejemplo, si se cuenta con una serie de 30 años de velocidad del viento y el ajuste a Weibull es bueno, se calcula matemáticamente que valores de la variable predice esta distribución para un evento que podría repetirse cada 100 años (período de retorno es 100 años).



Análisis de Valores Extremos



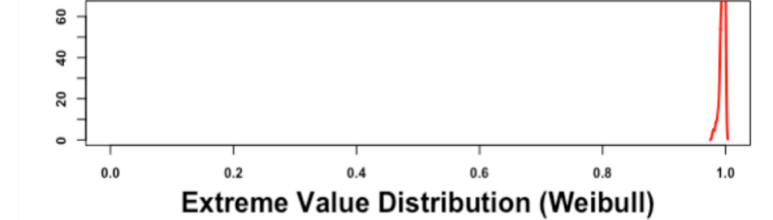
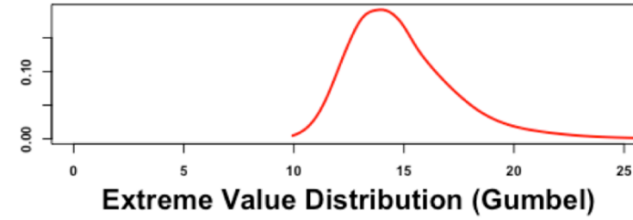
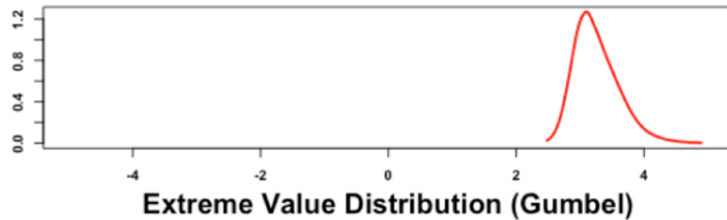
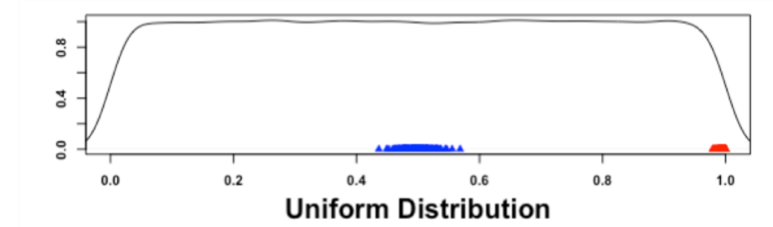
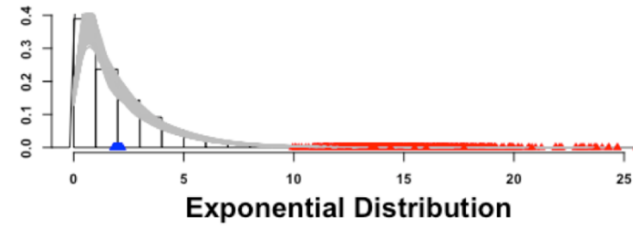
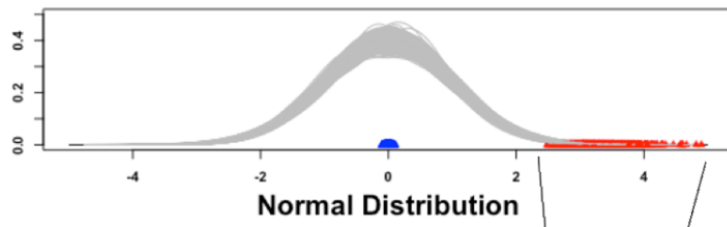
Ejemplos de la distribución de Gumbel



Análisis de Valores Extremos



Distribuciones de valores extremos



Si no se conoce la distribución de origen, los parámetros de la distribución GEV se estiman de las observaciones.

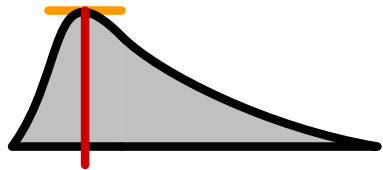
Análisis de Valores Extremos



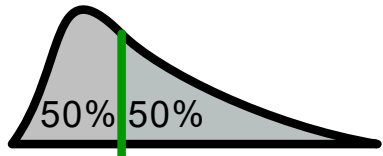
Ejemplo de la distribución de Gumbel

función de distribución $f(z) = e^{-e^{-\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)}}$

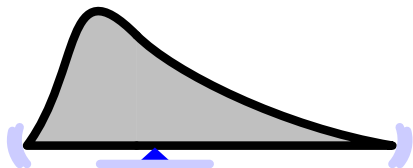
despejando $z = \mu - \sigma * \ln[-\ln(f(z))]$



mode



median



mean

Moda (continua): μ (location)

Desvío estándar (continua): $S = \sigma \frac{\pi}{\sqrt{6}}$

Media (continua): $m = \mu + \sigma\gamma$

$\gamma = \text{Constante de Euler-Mascheroni} \approx 0.5772156649015328606$

Tabla para corregir coeficiente de Gumbel cuando se usa una serie discreta. MOM.

N	yn	Sn
10	0,4952	0,9496
15	0,5128	1,0206
20	0,5236	1,0628
25	0,5309	1,0914
30	0,5362	1,1124
35	0,5403	1,1285
40	0,5436	1,1413
45	0,5463	1,1518
50	0,5485	1,1607
55	0,5504	1,1682
60	0,5521	1,1747
65	0,5535	1,1803
70	0,5548	1,1854
75	0,5559	1,1898
80	0,5569	1,1938
85	0,5578	1,1974
90	0,5586	1,2007
95	0,5593	1,2037
100	0,5600	1,2065

Análisis de Valores Extremos

Ejemplo de la distribución de Gumbel

Año	Caudal	ordenado	P>z	f(z)	z (Gumbel)
2000	460	970	0.0625	0.9375	1046
2001	720	940	0.125	0.875	911
2002	940	810	0.1875	0.8125	828
2003	310	790	0.25	0.75	768
2004	490	720	0.3125	0.6875	718
2005	520	714	0.375	0.625	676
2006	530	627	0.4375	0.5625	638
2007	810	625	0.5	0.5	604
2008	970	530	0.5625	0.4375	571
2009	625	520	0.625	0.375	539
2010	714	517	0.6875	0.3125	507
2011	517	490	0.75	0.25	474
2012	627	460	0.8125	0.1875	439
2013	790	440	0.875	0.125	399
2014	440	310	0.9375	0.0625	345

$P>z = 1/(n+1)$

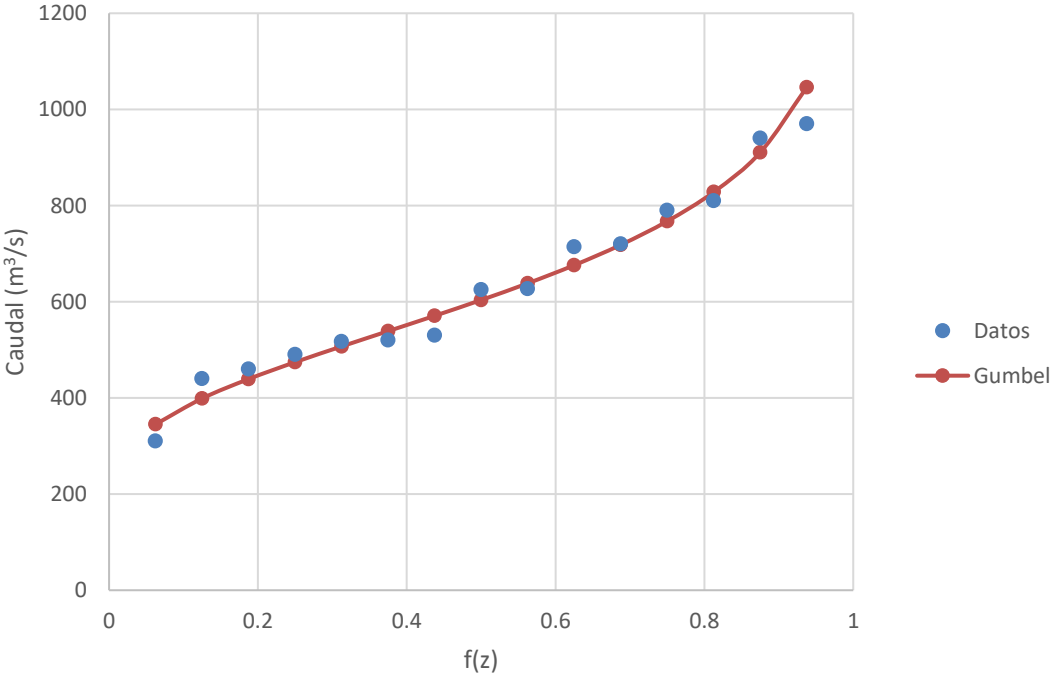
$f(z) = 1 - P$

$$\sigma = \frac{S}{\textcolor{red}{n}}$$

$$\mu = m - \textcolor{teal}{yn} * \sigma$$

$$z = \mu - \sigma * \ln[-\ln(f(z))]$$

<i>S</i>	190
<i>m</i>	631
<i>σ</i>	186
<i>μ</i>	535



Análisis de Valores Extremos



Ejemplo de la distribución de Gumbel

Con el ajuste hallado encontrar el caudal asociado a 100 años de período de retorno: $T_p = 100$ años.

Para ello conviene utilizar la variable reducida Y_T .

$$Y_T = -\ln \left[-\ln \left(\frac{T_p}{T_p - 1} \right) \right]$$

$$Y_{100} = 4.6$$

$$Z_{100} = \mu + \sigma * Y_T = 535 + 186 * 4.6 = 1391 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Probabilidad acumulada} = 1 - \frac{1}{T_p} = \left(\frac{T_p}{T_p - 1} \right)^{-1}$$

T_p	Prob	Y_T	Z_T
100	0.99	4.6	1391
50	0.98	3.9	1261
20	0.95	3.0	1087
15	0.93	2.7	1032
10	0.90	2.3	954
5	0.80	1.5	814
2	0.50	0.4	603

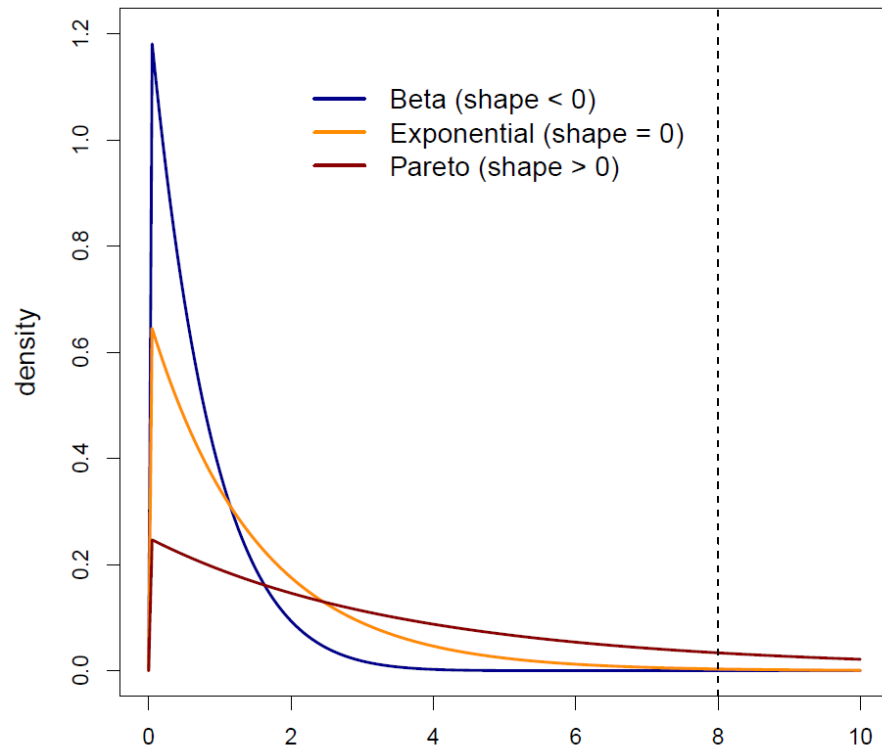
Analogous for Peaks Over a Threshold (POT) approach



Generalized Pareto Distribution (GPD), which has two parameters: **scale** and **shape**. Threshold replaces the **location** parameter.

Three Types:

1. Beta ($\xi < 0$), bounded above at threshold $-\sigma/\xi$
2. Exponential ($\xi = 0$), light tail
3. Pareto ($\xi > 0$), heavy tail



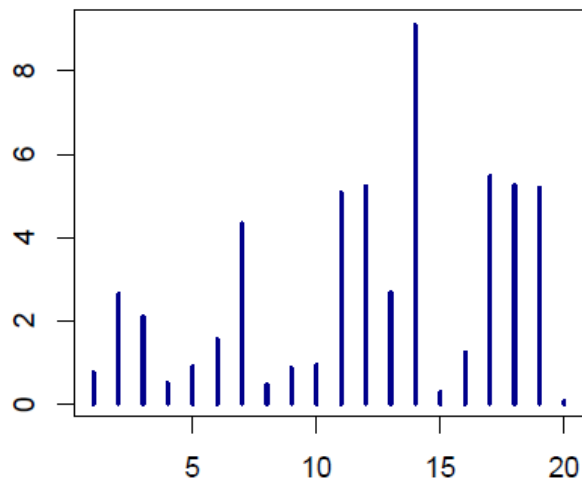
$$F(x) = 1 - \left[1 + \xi \left(\frac{x - u}{\sigma(u)} \right) \right]_+^{-1/\xi}$$

Example of **Generalized Pareto Distribution (GPD)** probability density functions for each of the three types of tail behavior. Scale parameter varies to magnify differences in the tail behavior. Dashed vertical line shows upper bound of beta distribution.

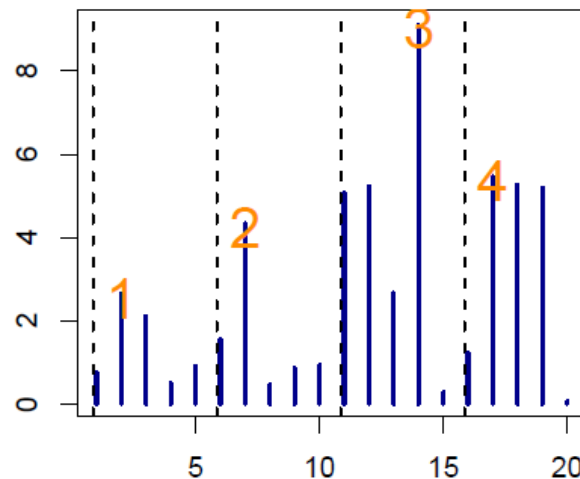
Análisis de Valores Extremos



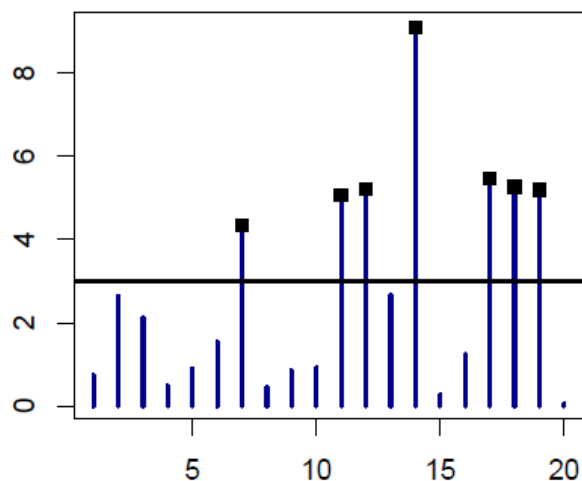
example data



block maxima



points exceed a threshold

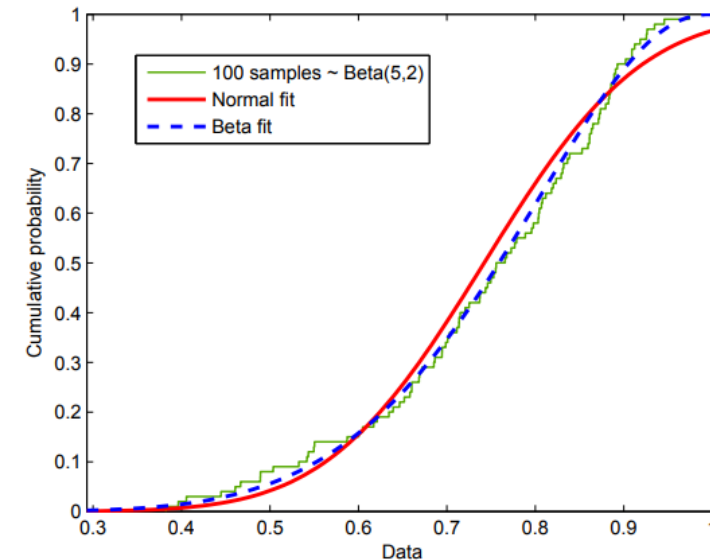
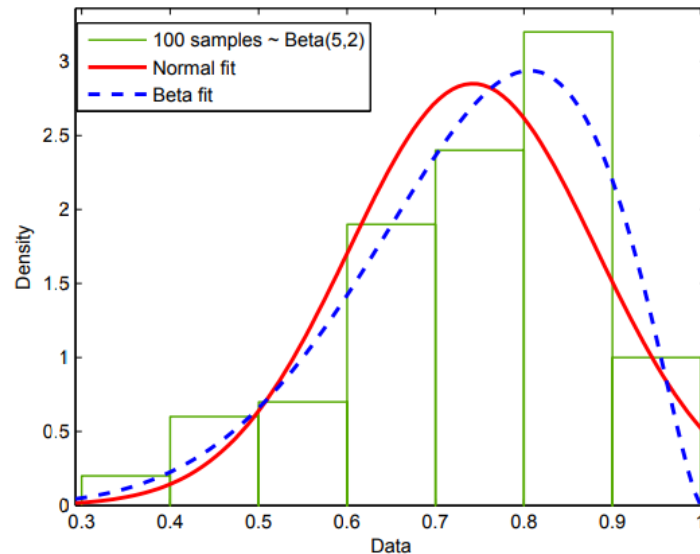


Datos de ejemplo (panel superior izquierdo) que muestran los máximos de los bloques (numerados en el panel superior derecho, donde las líneas discontinuas verticales representan el comienzo de un nuevo bloque) y los puntos que superan un umbral (panel inferior izquierdo; la línea horizontal muestra el umbral y los valores que lo superan están marcados con un cuadrado negro).

Estimación de los parámetros de las distribuciones



Existen diferentes métodos para la estimación de los parámetros de las distribuciones, y el más popular es posiblemente la estimación de ML (**máxima verosimilitud** o **maximum likelihood**), que permite fácilmente la inclusión de términos de covariables. ML requiere optimizar la función de verosimilitud, que para EVD no tiene una solución analítica de forma cerrada. Por lo tanto, se requiere optimización numérica.



Fitting a random sample of size 100 from Beta (5, 2). (a) Histogram of the data and P.D.F.s of fitted normal (solid line) and beta (dashed line) distributions; (b) Empirical C.D.F. and C.D.F.s of fitted normal and beta distributions.

Estimación de los parámetros de las distribuciones



Estimación de la Máxima Verosimilitud o Maximum Likelihood Estimation (MLE)

Máxima verosimilitud (ML) es un proceso que consiste en estimar valores de parámetros desconocidos suponiendo para los datos su explicación más probable. Para esto, se usan supuestos y modelos, y requiere calcular la probabilidad conjunta de las observaciones.

Ejemplo del cálculo de L para GEV

$$L(\xi, \mu, \sigma) = \prod_{i=1}^N e^{-\left[1 + \xi \left(\frac{z - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\xi}}}$$

The likelihood function

The likelihood function is defined as the joint probability density (or mass) function of Y_1, Y_2, \dots, Y_n as a function of θ :

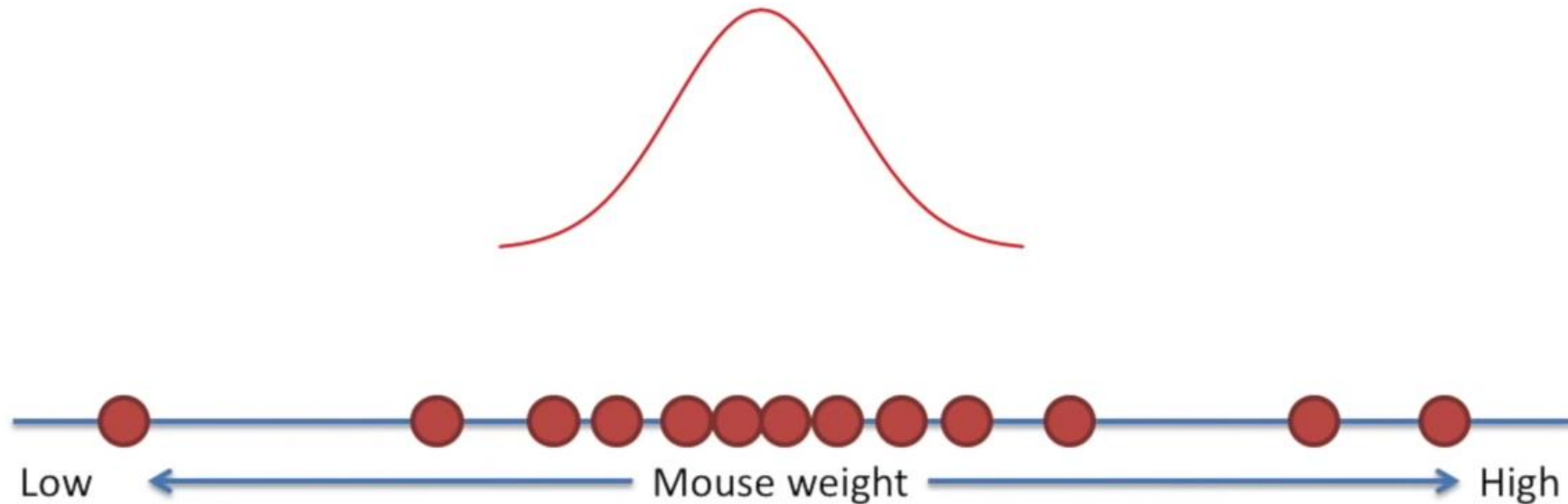
$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(Y_i; \theta)$$

$$L(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\sigma}) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}^2}} e^{-\frac{(Y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i))^2}{2\hat{\sigma}^2}}$$

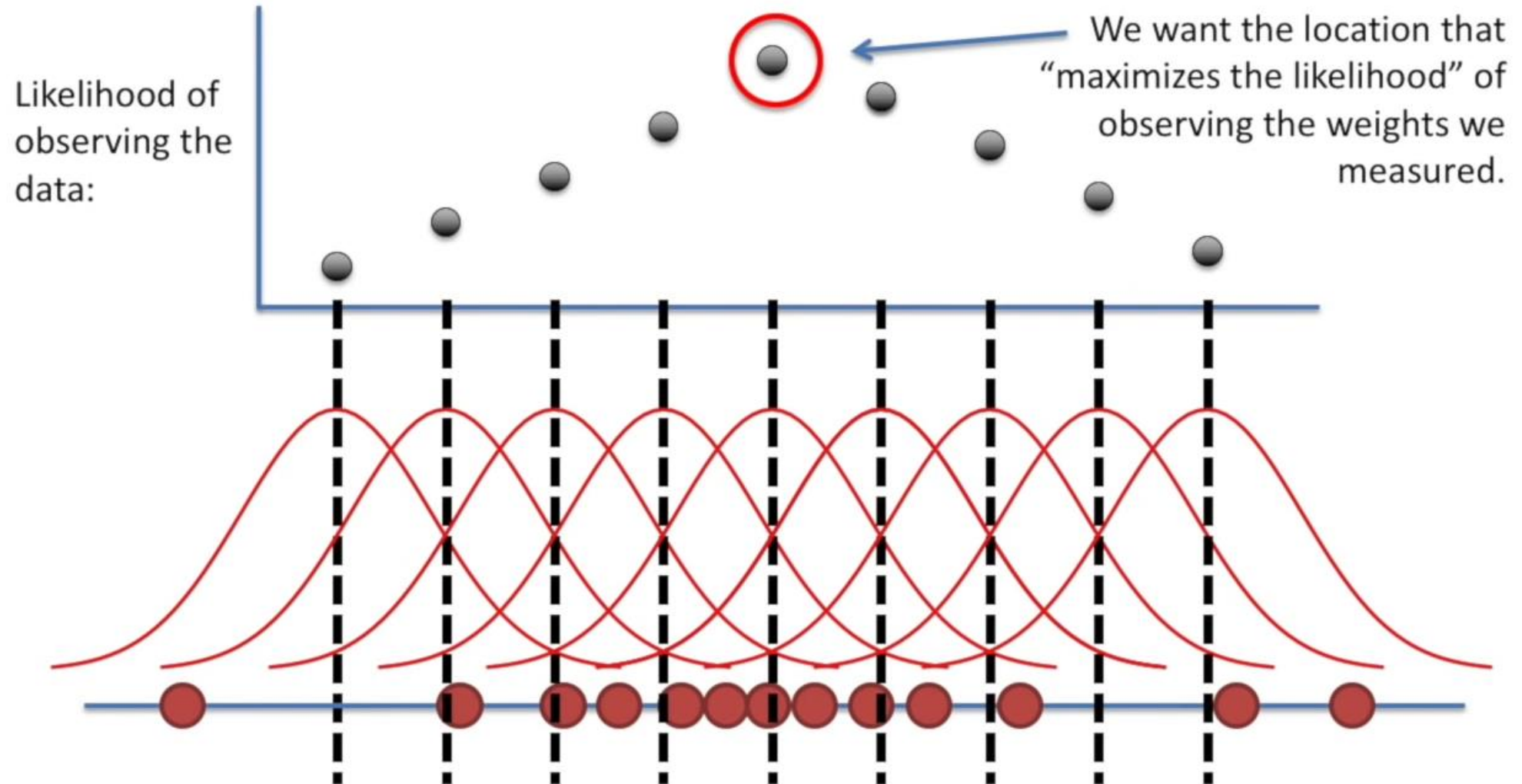
En este ejemplo se usa la distribución normal que depende la media (centro de cada gaussiana) y desvío estándar, pero se puede calcular para otras distribuciones y diferentes parámetros

L: Likelihood - Verosimilitud

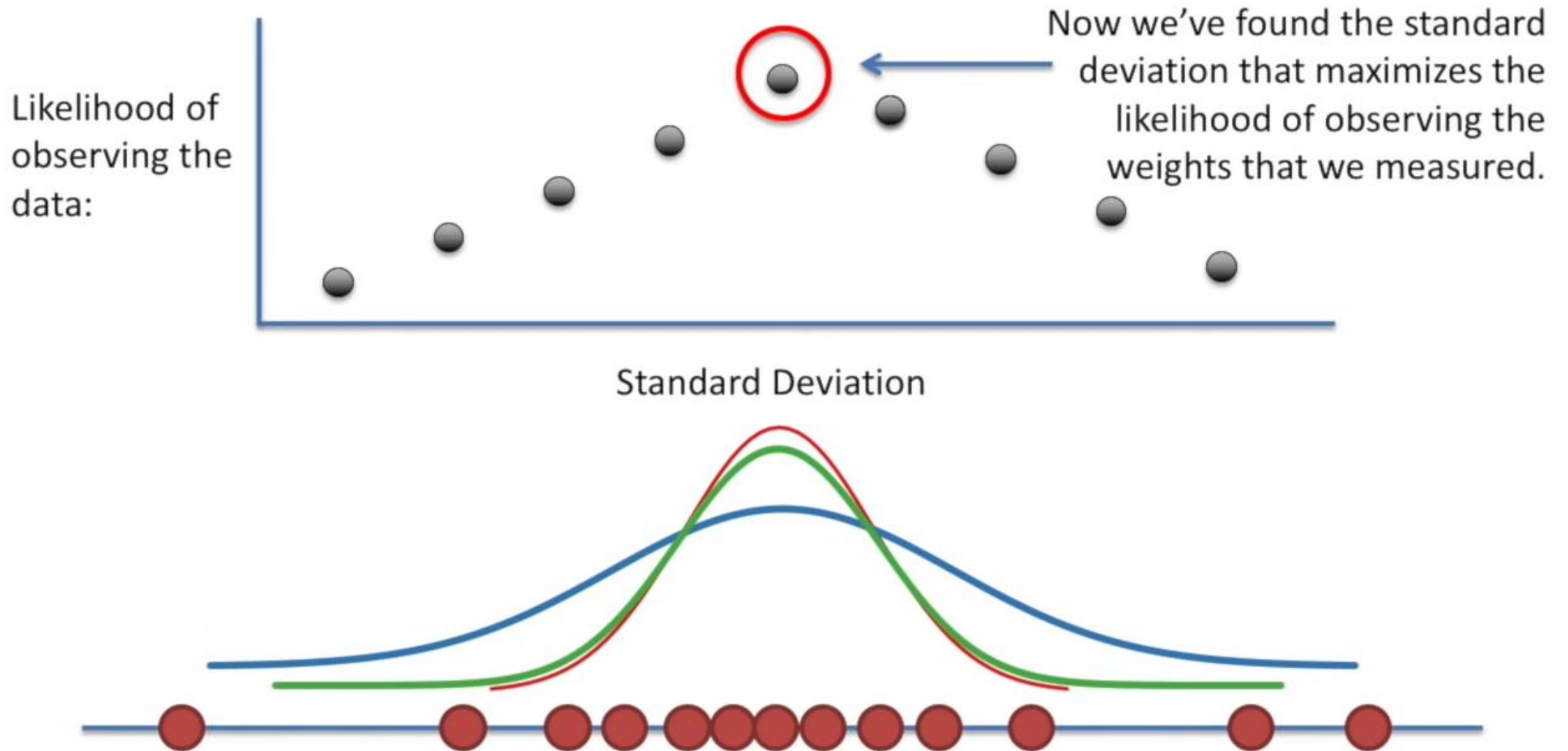
La Estimación de Máxima Verosimilitud (MLE) es una poderosa técnica estadística utilizada para estimar los parámetros de una distribución de probabilidad basada en datos observados. MLE se puede realizar fácilmente en Python con sólo unas pocas líneas de código. MLE tiene varias ventajas y es una técnica flexible que se puede utilizar para estimar los parámetros de varias distribuciones de probabilidad. Sin embargo, es esencial ser consciente de sus limitaciones y supuestos para obtener estimaciones precisas.



L: Likelihood - Verosimilitud



L: Likelihood - Verosimilitud



Estimación de los parámetros de las distribuciones



How to Interpret Log-Likelihood Values (With Examples)

The **log-likelihood value** of a regression model is a way to measure the goodness of fit for a model. The higher the value of the log-likelihood, the better a model fits a dataset.

The log-likelihood value for a given model can range from negative infinity to positive infinity. The actual log-likelihood value for a given model is mostly meaningless, but **it's useful for comparing two or more models**.

In practice, we often fit several regression models to a dataset and choose the model with the highest log-likelihood value as the model that fits the data best.

The following example shows how to interpret log-likelihood values for different regression models in practice.

Example: Interpreting Log-Likelihood Values

Suppose we have the following dataset that shows the number of bedrooms, number of bathrooms, and selling price of 20 different houses in a particular neighborhood:

Bedrooms	Bathrooms	Price (thousands)
1	2	120
1	1	133
1	4	139
2	3	185
2	2	148
2	2	160
2	3	192
3	5	205
3	4	244
3	3	213
3	4	236
3	4	280
3	3	275
3	4	273
4	2	312
4	4	311
4	3	304
5	5	415
5	6	396
6	7	488

Estimación de los parámetros de las distribuciones



Suppose we'd like to fit the following two regression models and determine which one offers a better fit to the data:

Model 1: $\text{Price} = \beta_0 + \beta_1(\text{number of bedrooms})$

Model 2: $\text{Price} = \beta_0 + \beta_1(\text{number of bathrooms})$

The following code shows how to fit each regression model and calculate the log-likelihood value of each model in R:

Estimación de los parámetros de las distribuciones



```
#define data
df <- data.frame(beds=c(1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3,
                        3, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 5, 5, 6),
                 baths=c(2, 1, 4, 3, 2, 2, 3, 5, 4, 3,
                         4, 4, 3, 4, 2, 4, 3, 5, 6, 7),
                 price=c(120, 133, 139, 185, 148, 160, 192, 205, 244, 213,
                        236, 280, 275, 273, 312, 311, 304, 415, 396, 488))

#fit models
model1 <- lm(price~beds, data=df)
model2 <- lm(price~baths, data=df)

#calculate log-likelihood value of each model
logLik(model1)

'log Lik.' -91.04219 (df=3)

logLik(model2)

'log Lik.' -111.7511 (df=3)
```

The first model has a higher log-likelihood value (**-91.04**) than the second model (**-111.75**), which means the first model offers a better fit to the data.

Cautions on Using Log-Likelihood Values

When calculating log-likelihood values, it's important to note that adding more predictor variables to a model will almost always increase the log-likelihood value even if the additional predictor variables aren't statistically significant.

This means you should only compare the log-likelihood values between two regression models if each model has the same number of predictor variables.

To compare models with different numbers of predictor variables, you can perform a [likelihood-ratio test](#) to compare the goodness of fit of two nested regression models.

Estadística de bondad de ajuste



Para evaluar el ajuste de las diferentes distribuciones aplicadas a las series de valores extremos, se calcula estadísticos de bondad de ajuste

- Estadístico de la prueba Chi-cuadrado
- Estadístico de la prueba de Kolmogorov-Smirnov
- Criterio de mínimos cuadrados estandarizados
- Coeficiente de correlación del gráfico de probabilidad
- Medida de la verosimilitud logarítmica (log-**likelihood**), válida por sí misma e input de **AIC** y **BIC**

Hay que destacar que la elección de la distribución de probabilidad no debe basarse únicamente en la bondad de ajuste. El hecho de que muchas distribuciones tengan una forma similar en sus partes centrales, pero difieran significativamente en las colas pone de relieve que la bondad de ajuste no es suficiente. La elección de la distribución de probabilidad es generalmente un compromiso entre requisitos contradictorios. La selección de una distribución con pocos parámetros proporciona estimaciones robustas de los parámetros, pero la bondad de ajuste puede no ser satisfactoria. Por otro lado, cuando se selecciona una distribución con más parámetros, la bondad de ajuste suele mejorar, pero a costo de una mayor incertidumbre de las estimaciones de los parámetros.

Además de una evaluación de los estadísticos de bondad de ajuste, debe realizarse una comparación gráfica de las diferentes distribuciones con la serie de valores extremos observada. Son útiles los gráficos de histograma/frecuencia y el de probabilidad.

Estadística de bondad de ajuste



Estos son criterios relativos, ya que permiten comparar entre modelos (ajustes), pero no indican cuan bueno es el modelo.

El **criterio de información de Akaike (AIC)** (Akaike, 1974) es una técnica basada en el ajuste en la muestra para estimar la probabilidad de un modelo para predecir/estimar los valores futuros. Un buen modelo es el que tiene un AIC mínimo entre todos los demás modelos.

El **criterio de información bayesiano (BIC)** (Stone, 1979) es otro criterio de selección de modelos que mide el compromiso entre el ajuste del modelo y la complejidad del mismo.

Un valor de AIC o BIC más bajo indica un mejor ajuste.

Para estimar el AIC y el BIC (Stone, 1979; Akaike, 1974) de un modelo se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$AIC = -2 * \ln(ML) + 2 * k$$

$$BIC = -2 * \ln(ML) + \ln(N) * k$$

donde ML es el valor de la máxima verosimilitud, N es el número de mediciones registradas y k es el número de parámetros estimados.

Los valores mínimos de AIC y BIC se utilizan como criterio de selección del modelo. El modelo óptimo se selecciona en función del R² más alto y del AIC y BIC mínimos.



```
fevd(x = Hs_P2, data = xdat, location.fun = ~1, scale.fun = ~1,
     shape.fun = ~1, use.phi = FALSE, type = "GEV", units = "m",
     na.action = na.fail)
```

```
[1] "Estimation Method used: MLE"
```

```
Negative Log-Likelihood Value: 36.74376
```

```
Estimated parameters:
```

```
location      scale      shape
3.87309273 0.56719870 0.05841112
```

```
Standard Error Estimates:
```

```
location      scale      shape
0.11242190 0.08551864 0.16350550
```

```
Estimated parameter covariance matrix.
```

```
location      location      scale      shape
location 0.012638682 0.004723175 -0.007814116
scale 0.004723175 0.007313438 -0.005038349
shape -0.007814116 -0.005038349 0.026734050
```

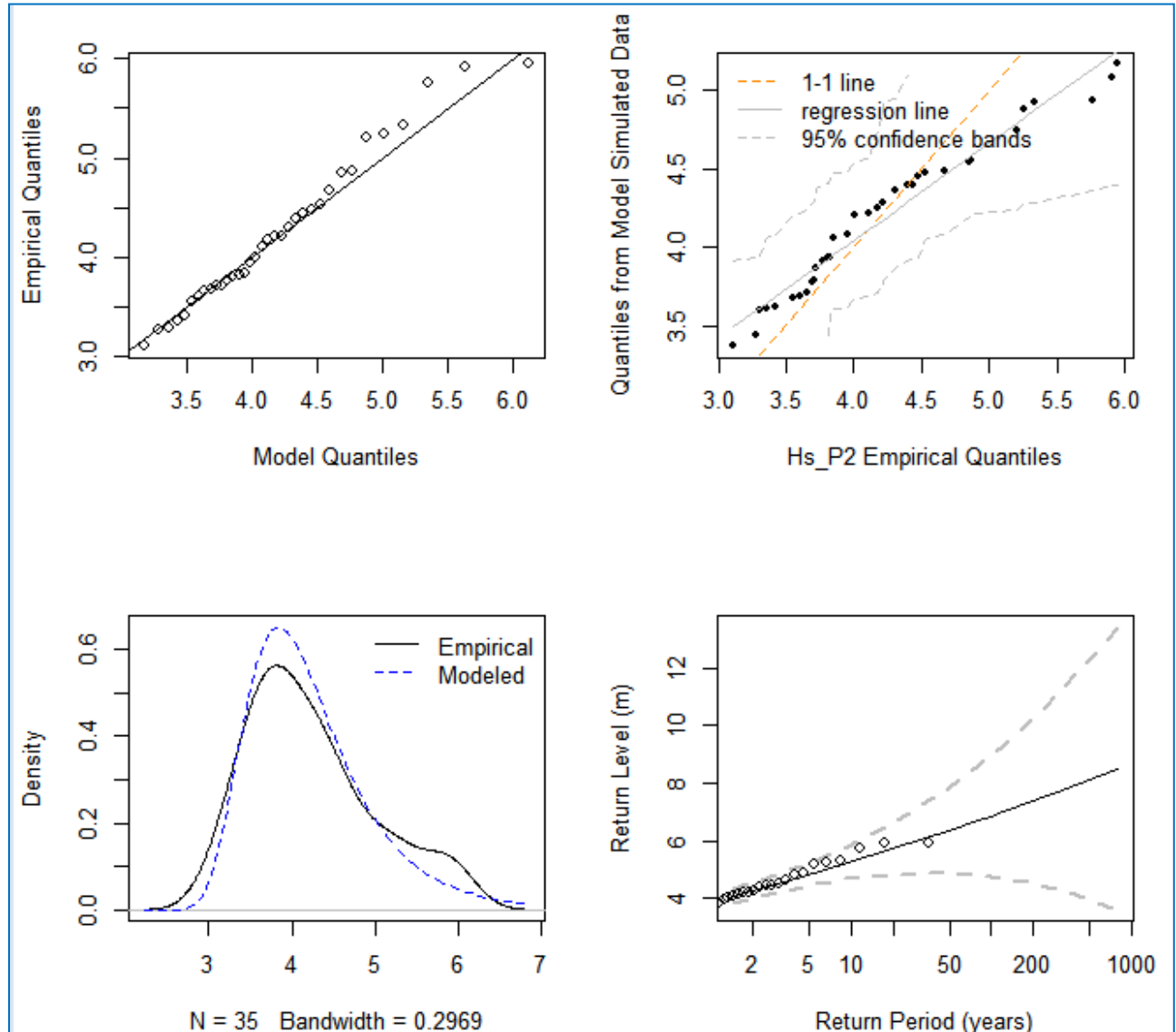
```
AIC = 79.48753
```

```
BIC = 84.15357
```

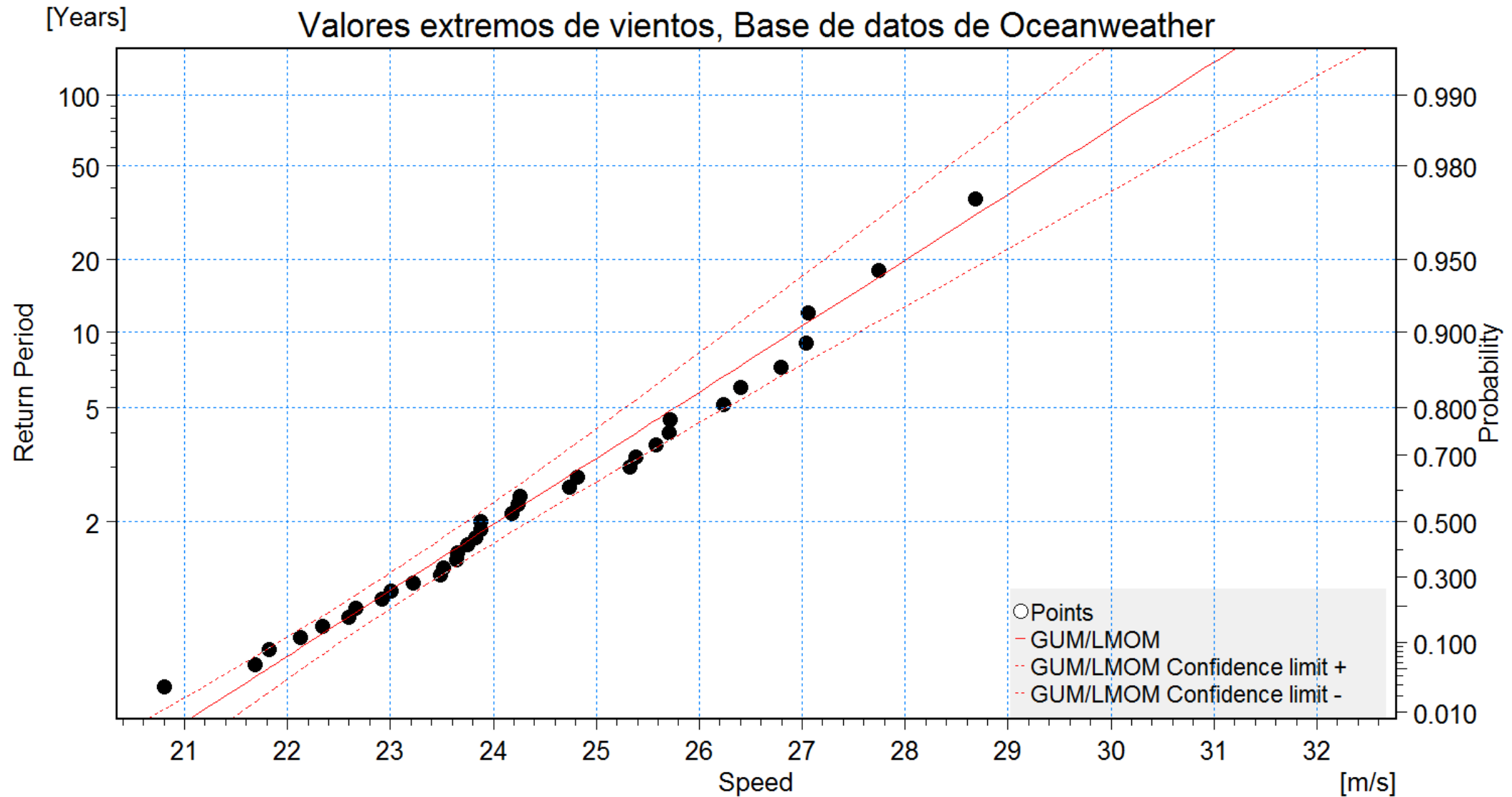
```
[1] "Normal Approx."
```

```
[1] "100-year return level: 6.866"
```

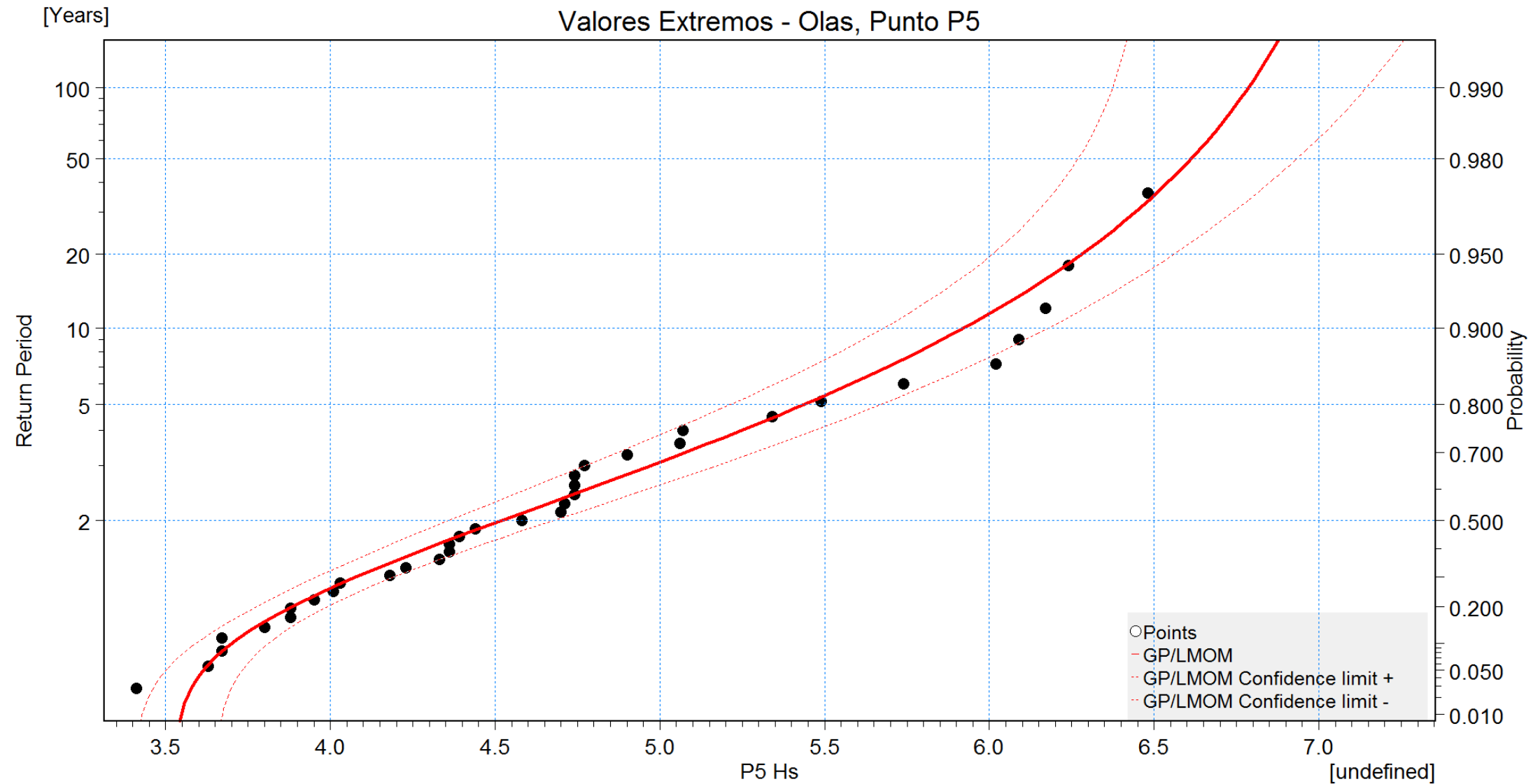
```
[1] "95% Confidence Interval: (4.7606, 8.9723)"
```



Ejemplo de ajuste de datos a una distribución GEV para vientos



Ejemplo de ajuste de datos a una distribución PDS para olas



LA BASE DE DATOS METOCEAN



A los efectos prácticos, se establecerá una base de datos metocean específica del sitio que contenga información sobre

- Alturas, períodos y direcciones de olas significativas
- Velocidades y direcciones de las corrientes a varias profundidades en toda la columna de agua
- Velocidades y direcciones del viento
- Icebergs, acumulación de nieve y hielo
- Niveles de agua
- Otros parámetros metocean (como salinidad del agua, temperatura del aire y del agua).

LA BASE DE DATOS METOCEAN



- Una serie de buenas mediciones en la ubicación de una estructura offshore es una valiosa fuente de información para establecer los parámetros de diseño, así como las condiciones de operación.
- Las mediciones de corto período pueden dar estimaciones engañosas de extremos a largo plazo.
- Los extremos derivados de las mediciones a corto plazo y específicos del sitio solo deben usarse con valores indicativos presentados en documentos de orientación estándar, si se tiene cuidado en reflejar la variabilidad a largo plazo, por ejemplo, analizando el registro junto con varios años de mediciones o hindcasts de un sitio cercano.
- Donde hay ciclos climáticos conocidos o esperados a largo plazo, la base de datos debe ser lo suficientemente larga como para incluir al menos un ciclo completo (ej. El Niño).
- Las mediciones específicas en el sitio deben ser, razonablemente, a largo plazo, de manera de estimar extremos climatológicos.
- Debe considerarse que las mediciones durante un período climatológicamente anómalo pueden dominar un conjunto de datos y, por lo tanto, los datos pueden ser atípicos del clima a largo plazo en el lugar.

LA BASE DE DATOS METOCEAN



Las variaciones climáticas durante la vida útil de las estructuras pueden provocar cambios en:

- El nivel del agua (promedio, marea y / o sobreelevaciones),
- La frecuencia de tormentas severas,
- La intensidad de las tormentas severas, y
- Cambios asociados en la magnitud y frecuencia de los vientos extremos, las olas y las corrientes.



Si la preocupación principal es derivar estimaciones de **tiempo de inactividad para operaciones** de descarga de buques cisterna (por ejemplo, mediante análisis de **persistencia**), es importante verificar la precisión de la base de datos para estados de bajamar con una amplia gama de períodos y direcciones de las olas para minimizar los riesgos de varaduras.

Si la base de datos también se utilizará para calcular las **estimaciones de fatiga** en estructuras offshore, la base de datos **debe verificarse para el rango completo de alturas de olas significativas (H_s) y períodos de onda (T_p o T_z)** junto con las estimaciones de los perfiles de corriente direccionales asociados.

La base de datos que se usará para establecer parámetros de diseño extremos debe ser lo más larga y precisa **posible**. Se debe hacer un juicio sobre la idoneidad de los parámetros de diseño que se han desarrollado, por ejemplo, con respecto a qué tan climatológicamente representativa es la base de datos disponible.

LA BASE DE DATOS METOCEAN



La base de datos puede establecerse mediante mediciones específicas del sitio durante un período de años o **como una alternativa mediante modelado numérico** (hindcast) de eventos históricos.

Si se utilizan simulaciones numéricas, los resultados simulados se deben calibrar (o verificar) contra las mediciones desde un lugar cercano desde el que existen mediciones.

Si tales mediciones no existen, el modelo de retroanálisis puede calibrarse o verificarse contra mediciones de un sitio análogo con un clima metocean similar en una cuenca oceánica diferente.

Si existen mediciones o hindcasts desde un lugar cercano, se puede usar la base de datos desde esta ubicación, siempre que las condiciones en los dos sitios sean similares en profundidad de agua, límites de alcance y clima general.

TIPOS DE TORMENTAS EN UNA REGIÓN



La definición de las condiciones ambientales y los parámetros metocean asociados que pueden ocurrir en diferentes tipos de tormentas es una parte importante de la comprensión de la viabilidad de diversas operaciones en alta mar, así como de determinar el proceso que será necesario para definir los parámetros metocean extremos y anormales.

Para algunas áreas, la definición de tipos de tormentas es problemática, en particular en regiones donde los ciclones tropicales pierden su identidad y se metamorfosean en tormentas extra tropicales. Tales tormentas pueden volverse muy graves y aún no se conocen bien sus características durante la transición; la derivación de los parámetros metocean extremos y anormales en tales áreas requiere cuidado adicional.

DIRECCIONALIDAD

Cuando se usan variaciones direccionales de los parámetros, los sectores generalmente deben ser menores de 45°.

EXTRAPOLACIÓN A CONDICIONES DE BAJA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA



- El problema de determinar los valores de baja probabilidad de ocurrencia de los parámetros metocean se ha vuelto aún más importante debido a la tendencia reciente de utilizar eventos muy raros para calcular directamente la probabilidad de falla de una estructura.
- Cada vez es más común que los propietarios y los reguladores exijan considerar los eventos de 1000 a 10000 años, es decir, la probabilidad anual de no superación de 10^{-3} y 10^{-4} , respectivamente. Se debe tener mucho cuidado al extrapolar los datos a tales probabilidades extremadamente bajas.
- El **método histórico** toma datos, ya sea a partir de mediciones o de hindcasts de modelos y se ajusta la cola (región de baja probabilidad) de la distribución de probabilidad con una distribución extrema apropiada, como **Gumbel** o **Weibull**. Este método histórico es el favorito en la industria offshore.
- Requiere simplemente el uso de una rutina de ajuste de curva (por ejemplo, mínimos cuadrados o máxima verosimilitud) para ajustar una expresión analítica (por ejemplo, Gumbel, Weibull) a datos que se originan a partir de mediciones o de un modelo. Una desventaja es que la confianza estadística en el valor extrapolado disminuye rápidamente para períodos de retorno superiores a dos o tres veces la longitud de la base de datos. De ello se deduce que las extrapolaciones a intervalos de recurrencia muy raros de 1000 años o más son especulativas.

EXTRAPOLACIÓN A CONDICIONES DE BAJA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA



- Se ha argumentado que algunas distribuciones son teóricamente superiores a otras. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que las estimaciones extremas más sólidas se obtienen al encontrar la distribución que se ajusta mejor a un subconjunto de un número razonable de puntos de datos más extremos.
- Al ajustar los datos, se debe tener cuidado de no mezclar datos de un tipo de evento de tormenta (por ejemplo, tormentas de invierno) con datos de otro tipo de evento de tormenta (por ejemplo, huracanes).
- Las distribuciones de probabilidad de los dos tipos de eventos extremos a menudo son una función del tipo de tormenta y la mezcla de tipos de tormentas puede conducir a estimaciones no conservativas de los extremos; cada tipo de tormenta se debe instalar por separado y luego se deben calcular las estadísticas combinadas.
- El ajuste debe incluir un número suficiente de tormentas para lograr la confianza estadística en el ajuste.
- Se debe tener cuidado de no extrapolar demasiado más allá de la longitud del conjunto de datos. Una buena regla empírica es no derivar parámetros metocean con períodos de retorno más que un factor de cuatro más allá de la longitud del conjunto de datos. **Por ejemplo, se debe usar al menos un conjunto de datos de 25 años para estimar los parámetros de tormenta de 100 años.**

EXTRAPOLACIÓN A CONDICIONES DE BAJA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA



- Se prefiere un conjunto de datos de retroanálisis de 30 años para estimar la tormenta de 100 años a algunos años de mediciones, aunque los resultados de la predicción pueden tener más dispersión que las mediciones. Se enfatiza que cualquier modelo utilizado para extrapolar datos debe ser cuidadosamente validado contra las mediciones disponibles.
- Se debe considerar una variedad de técnicas diferentes antes de decidir sobre un valor extremo, p.e., el uso de diferentes umbrales, diferentes distribuciones, máximos anuales (**block máxima**), pico-sobre-umbral (**Peak over Threshold, POT**).
- Se deben verificar las estimaciones de eventos raros para asegurarse de que no excedan un estado límite impuesto por restricciones físicas, p.e., el límite de rompimiento de olas en aguas poco profundas.

PARÁMETROS METOCEAN PARA ACTIVIDADES A CORTO PLAZO



(OPERACIONES, POR EJEMPLO)

Casi todas las operaciones offshore a corto plazo y algunas operaciones de aviación relacionadas con la costa son sensibles a la precisión, confiabilidad y puntualidad de las predicciones meteorológicas.

La técnica más común utilizada en tales ejercicios de planificación es el llamado análisis de "persistencia" o "ventana meteorológica". Este análisis se aplica típicamente a una serie de tiempo prolongado (por ejemplo, con una duración de 10 años) de una variable metocean, como la altura de ola significativa o la velocidad del viento.

Pueden ser necesarios análisis más sofisticados de parámetros múltiples (incluido el período de onda), en particular para las operaciones que involucran sistemas flotantes.

PARÁMETROS METOCEAN PARA ACTIVIDADES A CORTO PLAZO



Ventana de tiempo adecuada

Además de ser críticas y costosas, estas actividades requieren una ventana durante la que las condiciones del tiempo (olas, vientos y corrientes) permitan su realización, la instalación de pilotes, por ejemplo. En consecuencia, la precisión de la predicción a corto plazo puede ser tan importante como los valores de los parámetros metocean.

Ejemplos de actividades de rutina que son sensibles al tiempo:

- uso de grúas para elevar desde y hacia los barcos de suministro;
- uso de grúas para mover objetos alrededor de las cubiertas;
- uso de la torre de perforación, particularmente los movimientos de la torre de perforación;
- movimientos de helicóptero;
- operaciones de transferencia de personal en barco.

EJEMPLO



Para planificar una operación requerida en una instalación de manera segura, el número promedio de ocasiones en los meses de junio a agosto cuando se puede esperar que la altura significativa de la ola en un lugar específico sea inferior a 1.5 m durante un período de 36 horas o más, cuando al mismo tiempo la velocidad del viento debe ser inferior a 10 m/s, y el período de onda pico espectral es inferior a 9 s, pueden evaluarse.

Podría ser necesario modificar una operación para permitir que se relajen los criterios de limitación. En todos los casos, es probable que se necesiten pronósticos meteorológicos antes y durante las operaciones y, a menudo, vale la pena recopilar datos en tiempo real sobre parámetros metocean críticos (como la velocidad del viento y la altura/período de las olas) durante la operación para ayudar con la precisión y el tiempo de las predicciones.

EJEMPLO

A modo de ejemplo, la tabla siguiente puede usarse como guía. Los valores en amarillo son menores a la media y representan las condiciones más favorables (meses de enero y febrero).

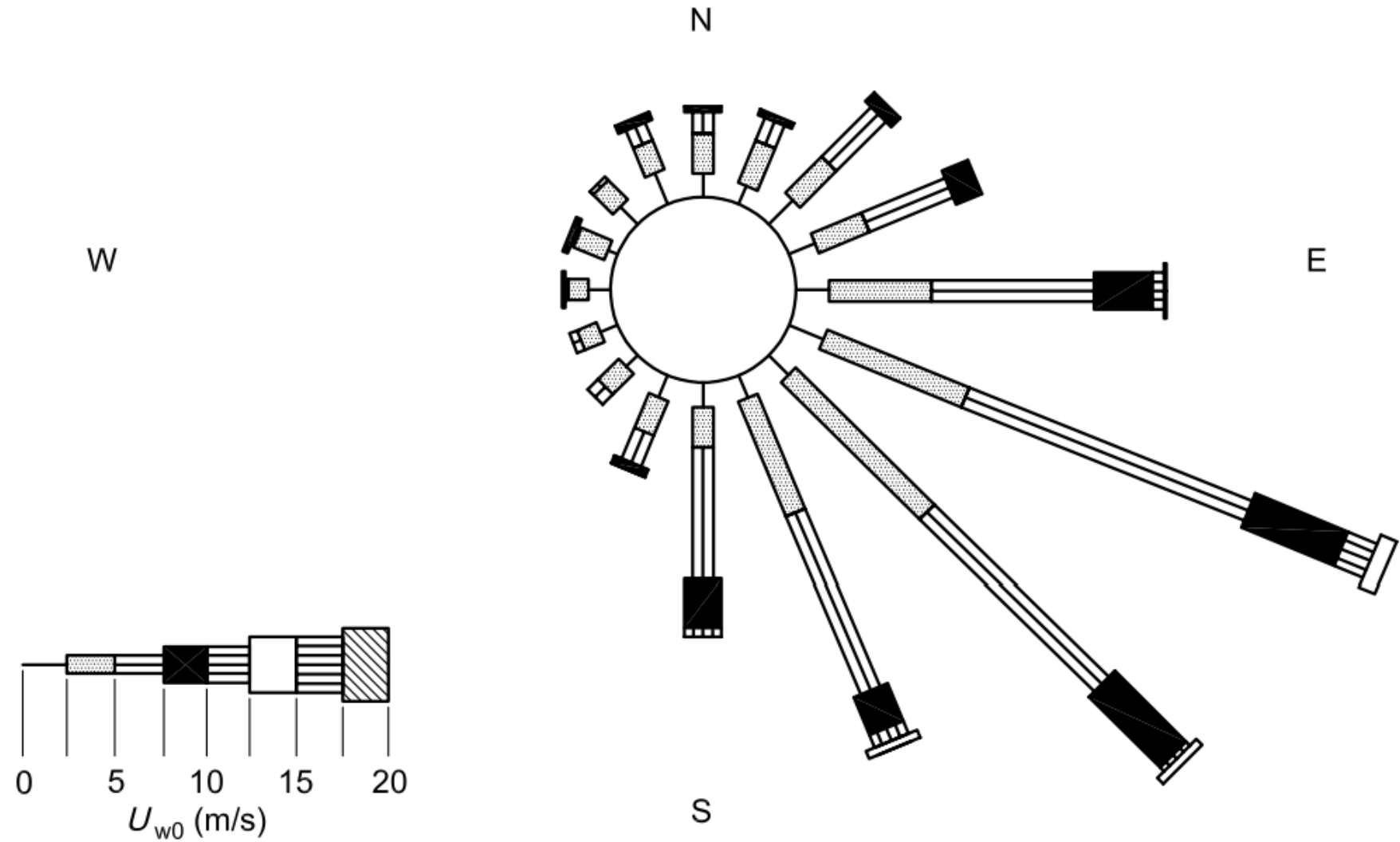
Valores medios y máximos mensuales de olas y vientos. Notas: $H_{s_{media}}$: altura significativa media; $H_{s_{max}}$: altura significativa máxima; $W_{s_{media}}$: velocidad media del viento; $W_{s_{max}}$: velocidad máxima del viento

Mes	$H_{s_{media}}$ (m)	$H_{s_{max}}$ (m)	$W_{s_{media}}$ (m/s)	$W_{s_{max}}$ (m/s)
Enero	2.1	8.5	6.5	20.3
Febrero	2.4	9.4	7.3	21.5
Marzo	2.7	12.5	7.8	26.7
Abril	2.9	12.6	8.1	25.0
Mayo	2.7	9.5	7.6	24.3
Junio	2.9	9.4	8.2	23.0
Julio	3.1	11.2	8.5	23.9
Agosto	3.2	9.5	8.9	24.3
Septiembre	3.1	10.4	8.7	22.7
Octubre	2.9	9.0	8.1	21.9
Noviembre	2.6	11.2	7.6	23.9
Diciembre	2.2	12.3	6.8	25.4
Media	2.7	10.5	7.8	23.6



Table C.18 — Percentage occurrence of total significant wave height versus spectral peak period — Offshore Nigeria location

Significant wave height m	Peak period s													Total
	0 to 1,99	2 to 3,99	4 to 5,99	6 to 7,99	8 to 9,99	10 to 11,99	12 to 13,99	14 to 15,99	16 to 17,99	18 to 19,99	20 to 21,99	22 to 23,99	>24	
0,00 to 0,49				0,02		0,03	0,02	0,03						0,10
0,50 to 0,99			0,50	5,37	2,55	3,48	3,14	2,46	0,64	0,13	0,05	0,02		18,34
1,00 to 1,49			0,34	11,01	16,65	9,40	11,01	8,76	2,74	0,88	0,24	0,04		61,07
1,50 to 1,99				0,08	5,85	4,67	2,76	2,95	1,19	0,33	0,09	0,03		17,95
2,00 to 2,49					0,17	0,79	0,58	0,41	0,19	0,07	0,03			2,24
2,50 to 2,99						0,06	0,08	0,04	0,05	0,02				0,25
>3,00							0,02	0,03						0,05
Total			0,84	16,48	25,22	18,43	17,61	14,68	4,81	1,43	0,41	0,09	0	100,00



a) Typical June wind rose



Table C.13 — Indicative wind, wave and current parameters — Shallow water sites off Nigeria

Metocean parameter	Return period no. years				
	1	5	10	50	100
Nominal water depth	30 m				
Wind speed at 10 m above MSL (m/s)					
10 min mean	19	23	25	29	31
3 s gust	24	29	32	37	39
Wave height (m)					
Maximum	4,8	5,5	5,8	6,5	6,8
Significant	2,3	2,7	2,8	3,2	3,3
Wave direction (from)	SSW				
Spectral peak period (s)					
For swell	15 to 17	15 to 17	15 to 17	15 to 17	15 to 17
For wind seas	7 to 8	7 to 8	7 to 8	7 to 8	7 to 8
Current speed (m/s)					
Surface ^a	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1
Mid-depth	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0
1 m above sea floor	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
^a These extreme values exclude any effect from river plumes.					

**Table C.21 — Indicative independent extreme values for winds, waves, and storm-generated currents
— Areas II and III of Gulf of Mexico (see Figure C.14) — Water depths greater than 300 m**



Metocean parameter ^a	Return period no. years				
	1 ^b	5 ^b	10 ^c	50 ^c	100 ^c
Wind speed (m/s)					
10 min mean wind speed	17,6	25,5	28,4	40,9	46,1
3 s gust wind speed	22,1	32,0	35,6	51,3	57,8
Waves ^d					
Maximum wave height (m)	9,4	13,0	15,0	22,8	25,8
Significant wave height (m)	4,9	7,3	8,5	12,9	14,6
Spectral peak period ^e (s)	10,3	11,7	12,3	14,3	14,9
Current speed — Storm-generated (m/s) ^f					
Surface	0,4	0,6	1,3	2,0	2,3
20 m depth	0,4	0,6	1,1	1,8	2,0
30 m depth	0,4	0,6	0,8	1,7	1,9
40 m depth	0,4	0,6	0,1	1,4	1,8
50 m depth	0,4	0,6	0,1	0,9	1,4
60 m depth	0,4	0,6	0,1	0,3	0,8
70 m depth	0,4	0,6	0,1	0,1	0,1
90 m depth	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1 m above sea floor	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
^a This annex provides some indicative values for metocean parameters which can be suitable for conceptual studies. Site- or project-specific criteria shall be developed for structural design and/or assessment. ^b Winter storm. ^c Hurricane. ^d Wave heights in this table for each return period are identical for all deep water areas of the Gulf of Mexico. This is not necessarily conservative for some areas, and can be overly conservative for some areas in the central Gulf. ^e Assume that the spectral peak period can vary by $\pm 10\%$ around these central estimates. ^f The peak hurricane wind and wave and the peak hurricane current do not generally occur together. To estimate the current associated with the peak hurricane wind and wave, factor the current speed and depth scale by 0,9. To estimate the wind and wave associated with the peak hurricane current, factor the peak wind and wave by 0,9.					



PARTE 4

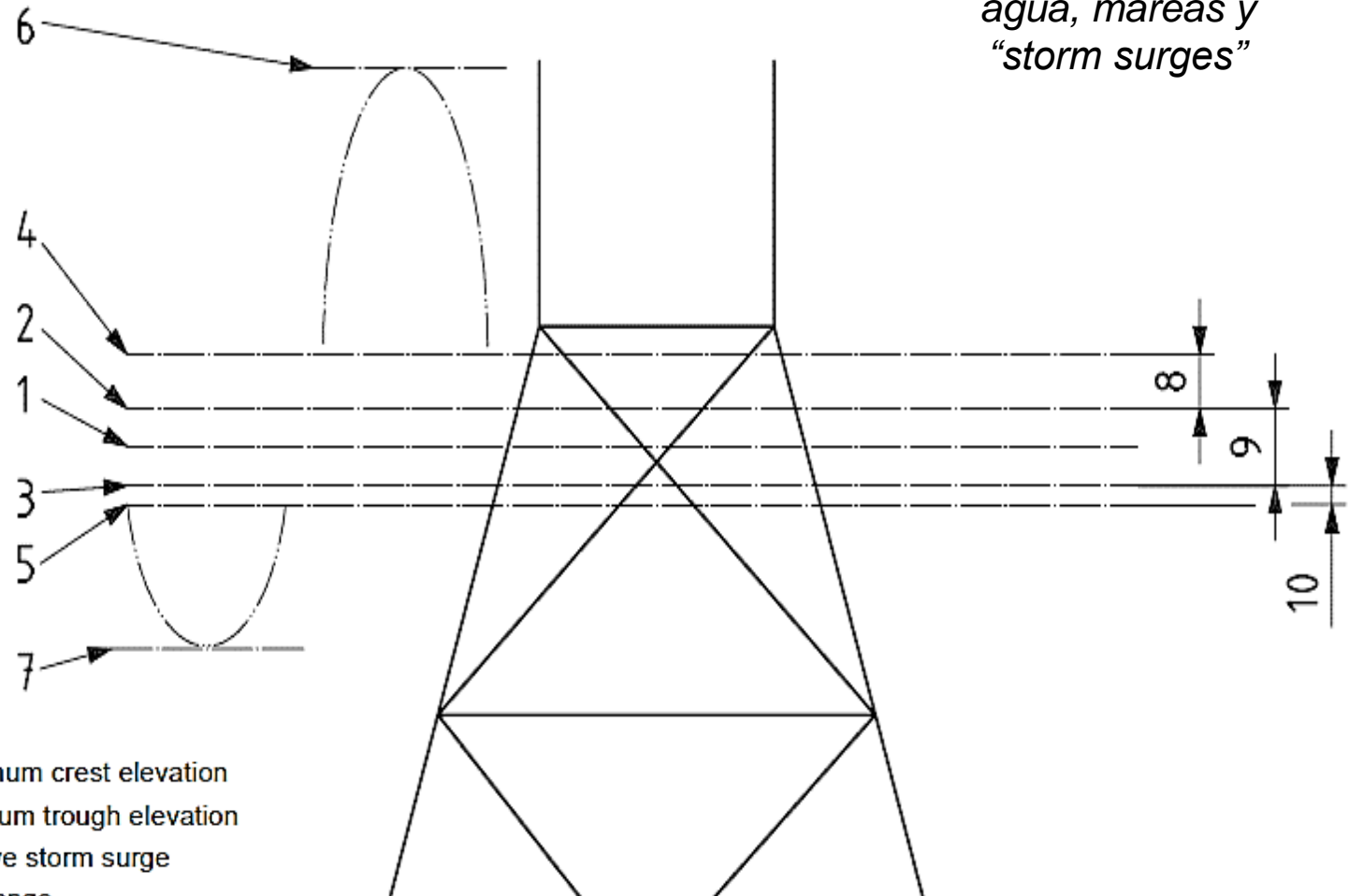
METOCEAN POR VARIABLE

PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA

- La profundidad del agua en el sitio incluidas sus variaciones, se determinará cuando sea significativo para el tipo de estructura que se está considerando.
- El rango de profundidad del agua en un sitio en particular es importante para el diseño de las estructuras, ya que afecta a varios parámetros:
 - Las acciones ambientales sobre la estructura, como las fuerzas de las olas
 - El sistema de amarre, las defensas del “muelle”, la cubierta inferior de las estructuras apoyadas en el fondo, entre otros
 - La longitud del riser en estructuras flotantes, y
 - Las fuerzas sobre estructuras flotantes tensadas o amarradas verticalmente.

PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA

Para propósitos de diseño, se puede considerar que la profundidad del agua consiste en un componente más o menos estacionario, que es la profundidad del agua a un dato de referencia (por ejemplo, LAT o MSL) y variaciones con el tiempo relativo a este nivel, ver Figura.



- 1 mean sea level
- 2 highest astronomical tide (HAT)
- 3 lowest astronomical tide (LAT)
- 4 highest still water level
- 5 lowest still water level

- 6 maximum crest elevation
- 7 minimum trough elevation
- 8 positive storm surge
- 9 tidal range
- 10 negative storm surge

PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA

Las variaciones se deben a: **marea astronómica y al viento** que pueden generar mareas meteorológicas (positivas o negativas).

Otras variaciones en el nivel del agua pueden ser el resultado de **variaciones climáticas a largo plazo, hundimientos del fondo del mar o eventos episódicos como tsunamis.**

Las variaciones del nivel del agua tienen un impacto relativamente menor en aguas profundas, pero pueden ser considerablemente más importantes en aguas poco profundas.

Es importante para el diseño de todas las estructuras (y las estructuras de apoyadas en el fondo en aguas poco profundas) tener un buen conocimiento de la distribución conjunta de la marea, la altura la marea meteorológica y la elevación de cresta y valle de las olas.



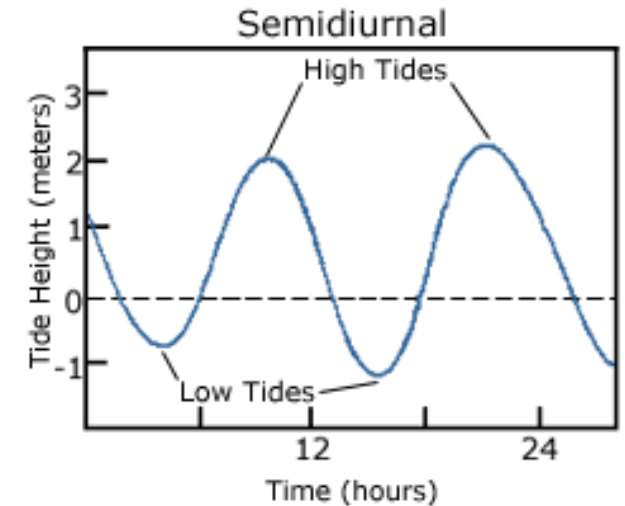
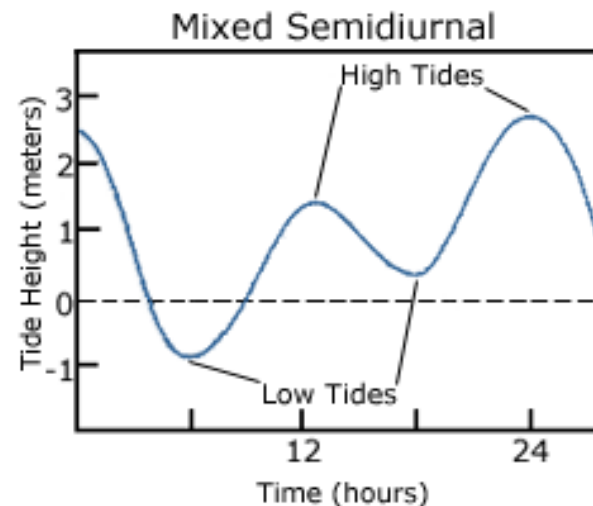
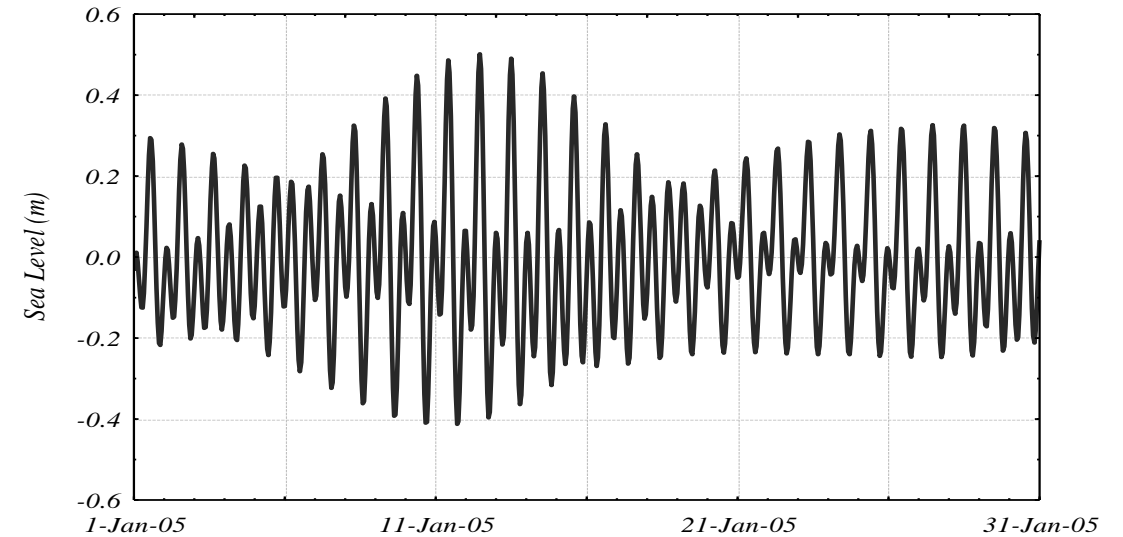
PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA

MAREAS

Marea astronómica

Las variaciones de las mareas son el resultado de la interacción gravitacional y rotacional entre el sol, la luna y la tierra y son regulares y en gran medida predecibles; están limitados por la marea astronómica más alta (HAT) y la marea astronómica más baja (LAT) en el sitio.

Las variaciones en la elevación de las mareas astronómicas diarias determinan las maniobras de acceso al puerto, la altura de las defensas del muelle (fenders), el tratamiento de la zona afectada (por esos desniveles) de pilotes de muelles, conductos y risers y los límites superiores del crecimiento marino para las estructuras apoyadas en el fondo.



MAREAS

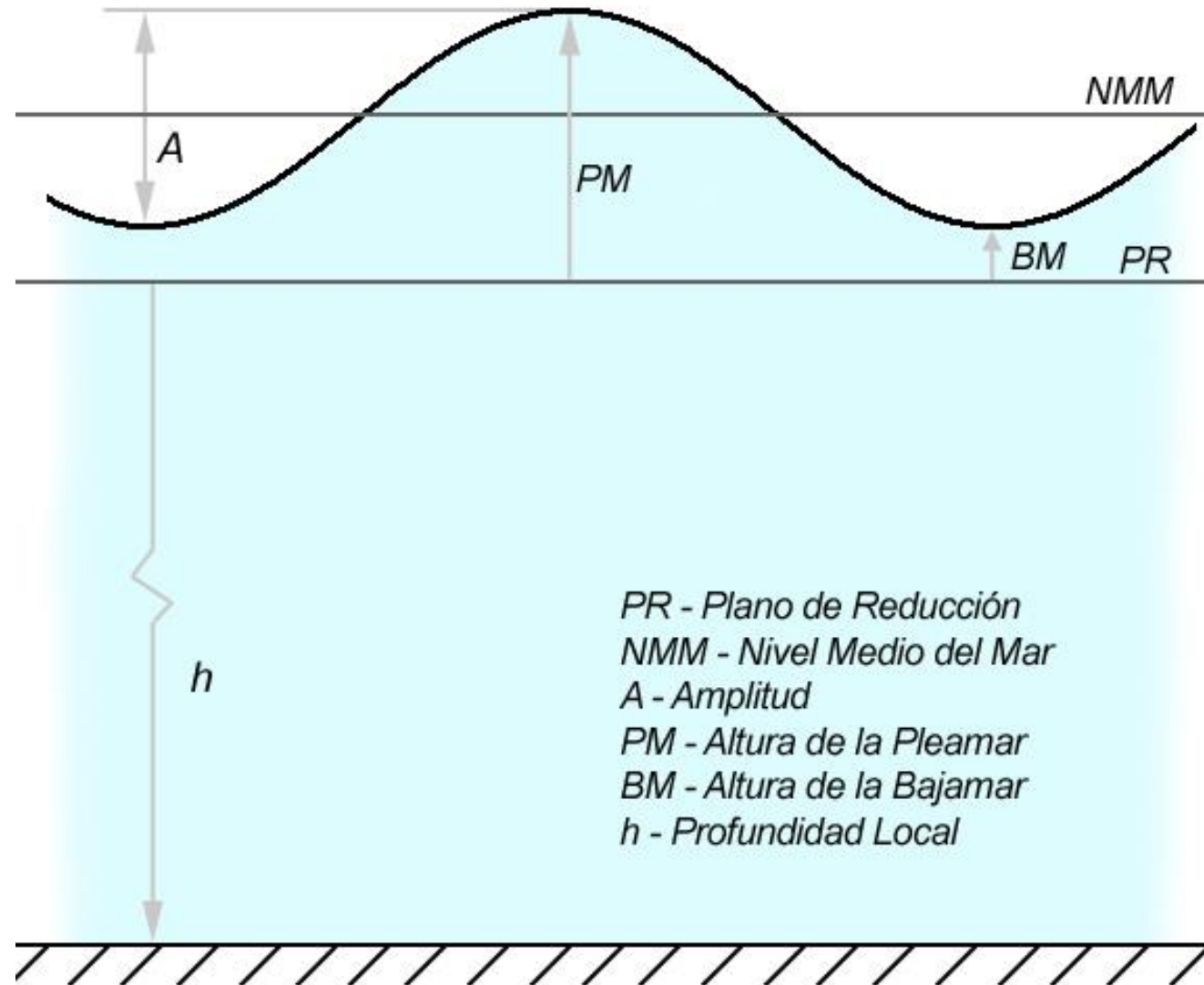
Marea astronómica

Los cambios constantes en las declinaciones del sol y la luna y las variaciones cíclicas en la posición de ambos con respecto a la tierra producen mareas con componentes elementales con períodos muy variables. Se han identificado hasta 390 componentes de las mareas. Los más importantes se muestran en la Tabla 3-1.

Species and name	Symbol	Period (hrs)	Relative size %
Semi-diurnal			
Principal lunar	M_2	12.42	100
Principal solar	S_2	12.00	47
Larger lunar elliptic	N_2	12.66	19
Luni-solar semi-diurnal	K_2	11.97	13
Diurnal			
Luni-solar diurnal	K_1	23.93	58
Principal lunar diurnal	O_1	25.82	42
Principal solar diurnal	P_1	24.07	19
Larger lunar elliptic	Q_1	26.87	8
Long period			
Lunar fortnightly	M_f	327.9	17
Lunar monthly	M_m	661.3	9
Solar semi-annual	S_{sa}	4383	8

Table 3-1. Characteristics of some of the principal tide-producing force constituents

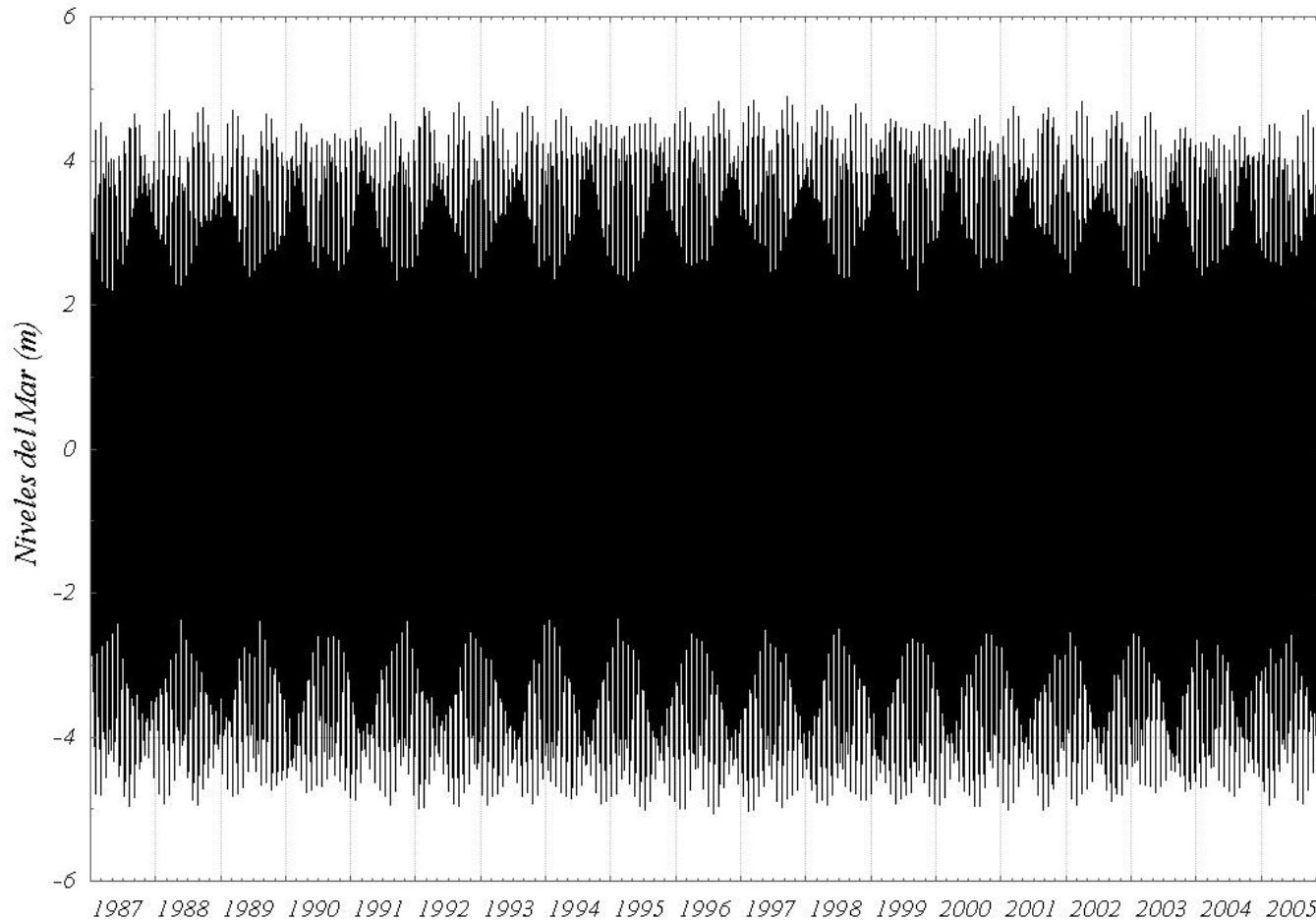
PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA



Nivel de
referencia para
las cartas
náuticas

PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA

Ciclo de Metón



CICLO DE METÓN O CALENDARIO LUNAR

Este ciclo busca las coincidencias entre el año solar y el año lunar.

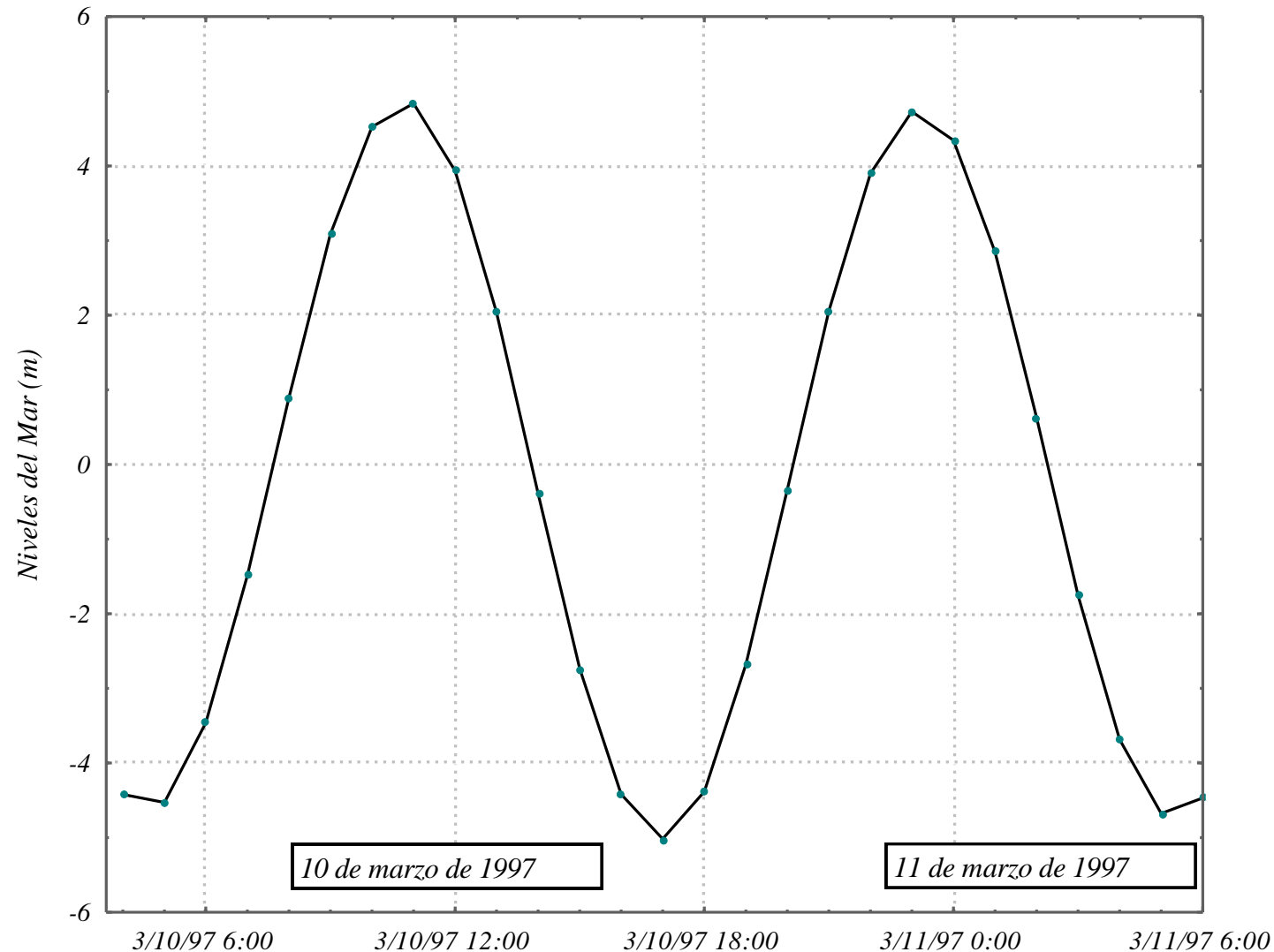
El año solar tiene, desde tiempos antiguos, una duración calculada en 365 días y $\frac{1}{4}$.

El año lunar tiene 354 días, dado que el mes lunar tenía 29 días y medio.

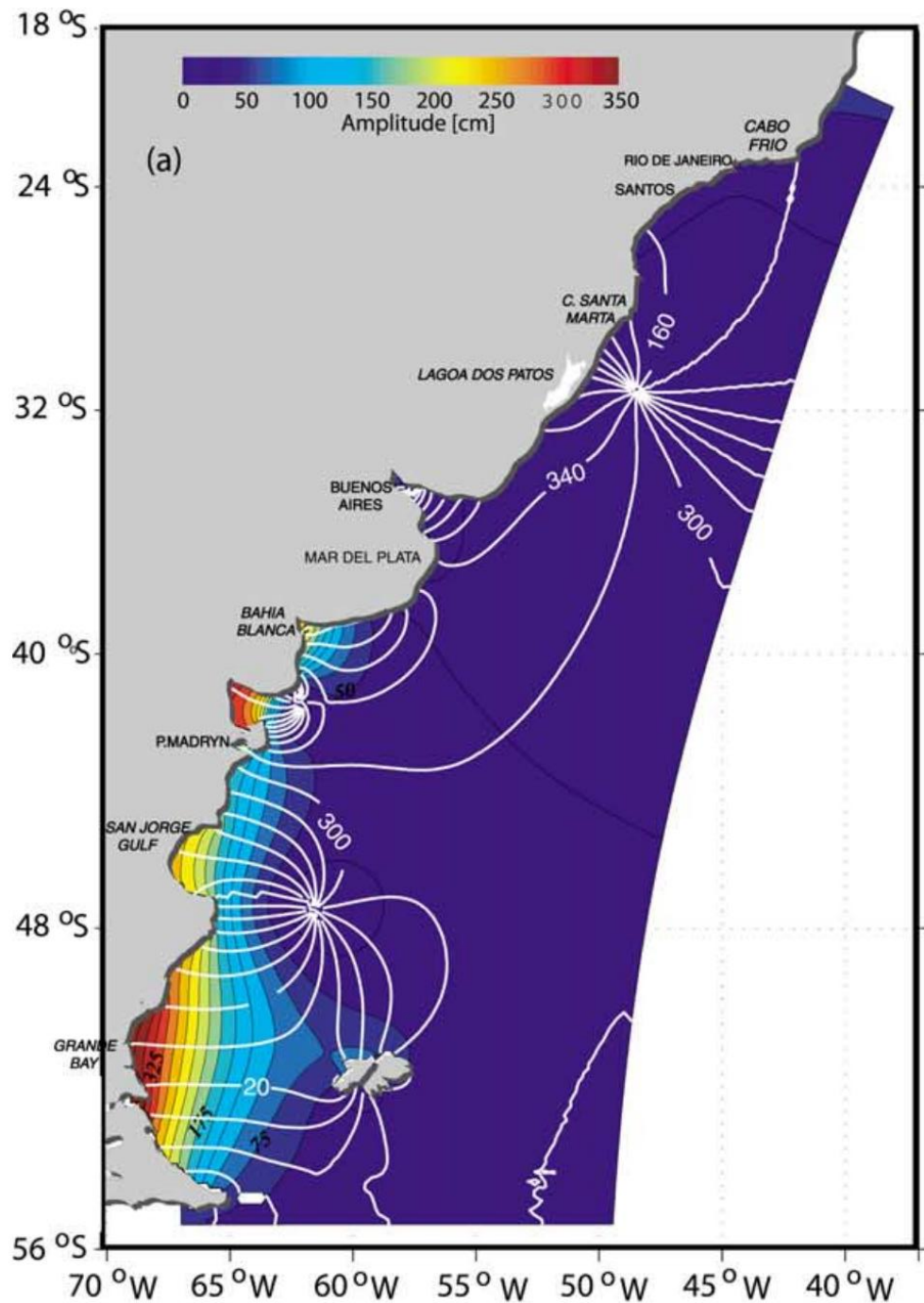
Metón: Astrónomo griego (siglo V a.C.). Descubrió que 19 años solares del calendario griego equivalían a 235 lunaciones. Esto quiere decir que cada 19 años solares la luna volvía a pasar por las mismas fases en los mismos días y en las mismas horas, con lo cual se ajustaba el comienzo del curso de la luna con el del sol.

Este ciclo recibió el nombre de **ciclo decemnovenal**, posteriormente denominado **ciclo de Metón** o **ciclo metónico**.

PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA



La máxima amplitud de marea en el sitio de exploración durante un Ciclo de Metón, considerado entre los años 1987 y 2005, (un Ciclo de Metón es un período de 19 años después del cual las Fases de la Luna se producen aproximadamente en las mismas fechas que en el ciclo precedente) se presentó entre los días 10 y 11 de Marzo de 1997 según muestran la figura, cuando la pleamar fue de 4.84 m y la bajamar de - 5.02 m con respecto al nivel medio del mar.



A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Barotropic response to tidal and wind forcing

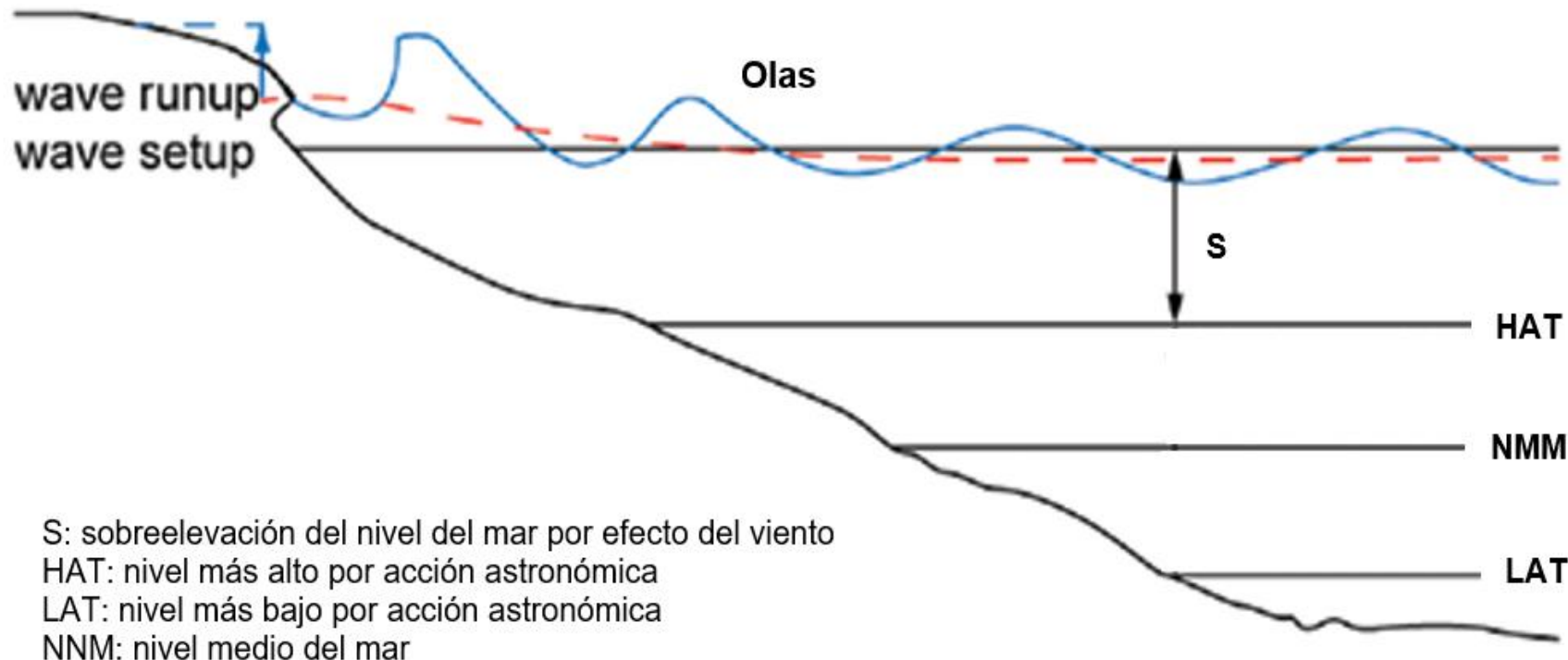
Elbio D. Palma Departamento de Física, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina

Ricardo P. Matano College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA

Alberto R. Piola Departamento de Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires, Argentina

NIVEL DE MAREA MÁS ALTO (HIGHEST ASTRONOMICAL TIDE), HAT

Es el nivel más alto que se puede esperar que ocurra en condiciones meteorológicas medias y con cualquier combinación de condiciones astronómicas, $HAT=5.5$ m respecto del NMM (Estrecho de Magallanes).



Definiciones de la sobreelevación del nivel del mar por efecto del viento, S, y niveles más altos y más bajos de origen astronómico, HAT y LAT respectivamente

LAT and HAT reference levels

Common definitions of these characteristic levels are presented in Table 4.2.3.1. The LAT and HAT levels results were calculated based on 19 years of hydrodynamic modeling performed with the calibrated model MIKE 3 (HD). On the other hand, the Tablas de Marea (2015), were consulted as well.

Table 4.2.3.1 Common definitions of LAT y HAT reference levels

Name	Common definition
LAT Lowest Astronomical Tide	Highest level that can be expected to occur under average meteorological conditions and under any combination of astronomical conditions
HAT Highest Astronomical Tide	Lowest level that can be expected to occur under average meteorological conditions and under any combination of astronomical conditions

PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA

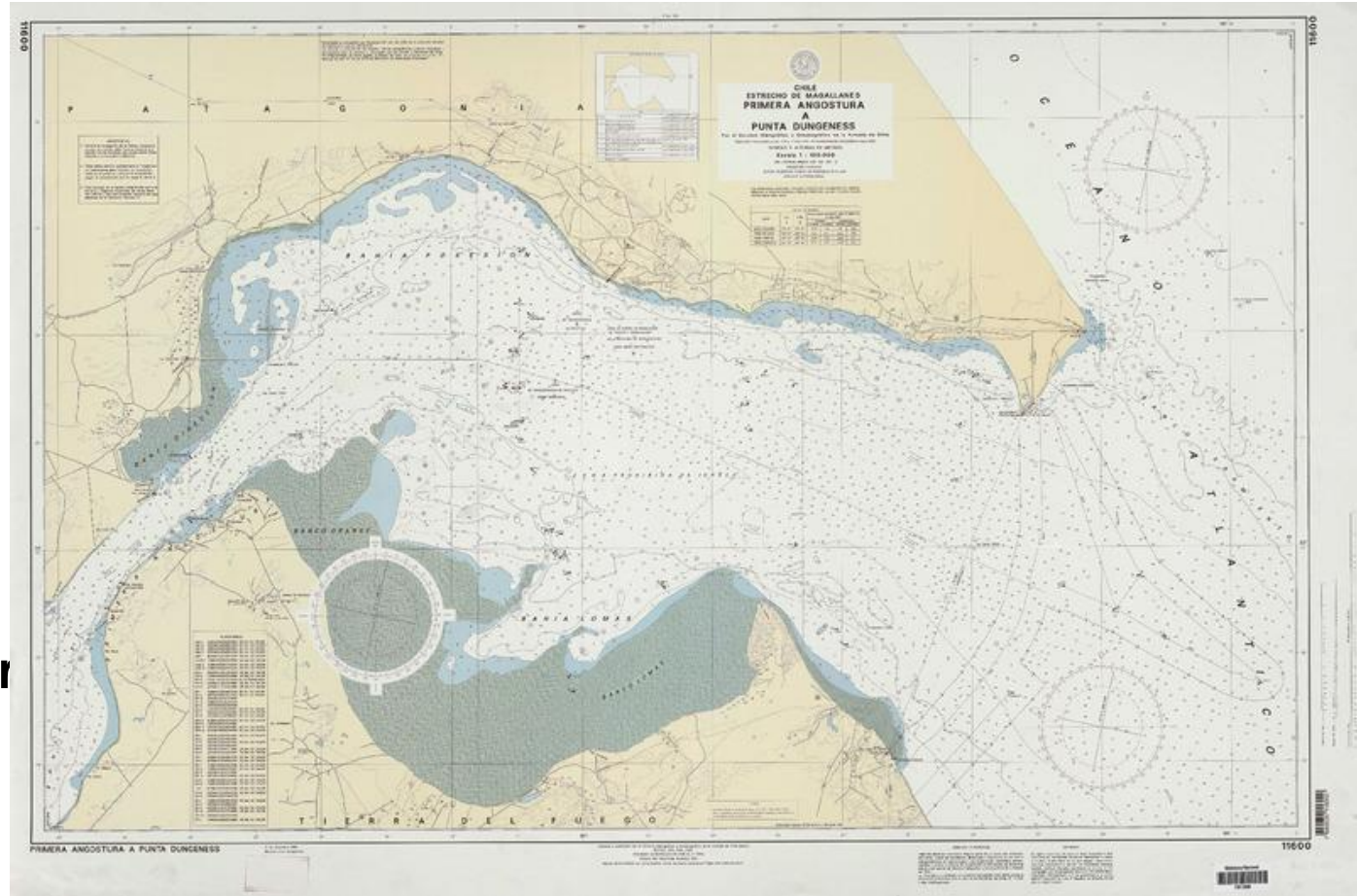
Valores más bajos y más altos en 1 año.

Values extracted from the (Tablas de marea, 2015)

- Mínimo = -5.8 m (below MSL)
- Máximo = 5.5 m (above MSL)

Values extracted from the (Tablas de mar 2014)

- Mínimo = -5.8 m (below MSL)
- Máximo = 5.1 m (above MSL)



MHWS, MHWN, MLWN, MLWS reference levels

Name	Common definition
MHWS Mean High Water Springs	Average HEIGHT of the HIGH WATERS of SPRING TIDES above Chart Datum.
MHWN Mean High Water Neaps	Average HEIGHT of the HIGH WATERS of NEAP TIDES above Chart Datum.
MLWS Mean Low Water Springs	Average HEIGHT of all LOW WATERS of SPRING TIDES above Chart Datum.
MLWN Mean Low Water Neaps	Average HEIGHT of the LOW WATERS of NEAP TIDES above Chart Datum.

These levels results were calculated based on 19 years of hydrodynamic modeling performed with the calibrated model MIKE 3 (HD). The procedure was as follows

- All high and low tides of the 19 years sea level series were obtained.
- 248 cycles of 4 weeks duration (lunation) were selected. In each cycle, we obtained:
 - ✓ The 4 highest high water during spring tide
 - ✓ The 4 highest high water during neap tide
 - ✓ The 4 lowest low water during spring tide
 - ✓ The 4 lowest low water during neap tide

PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA

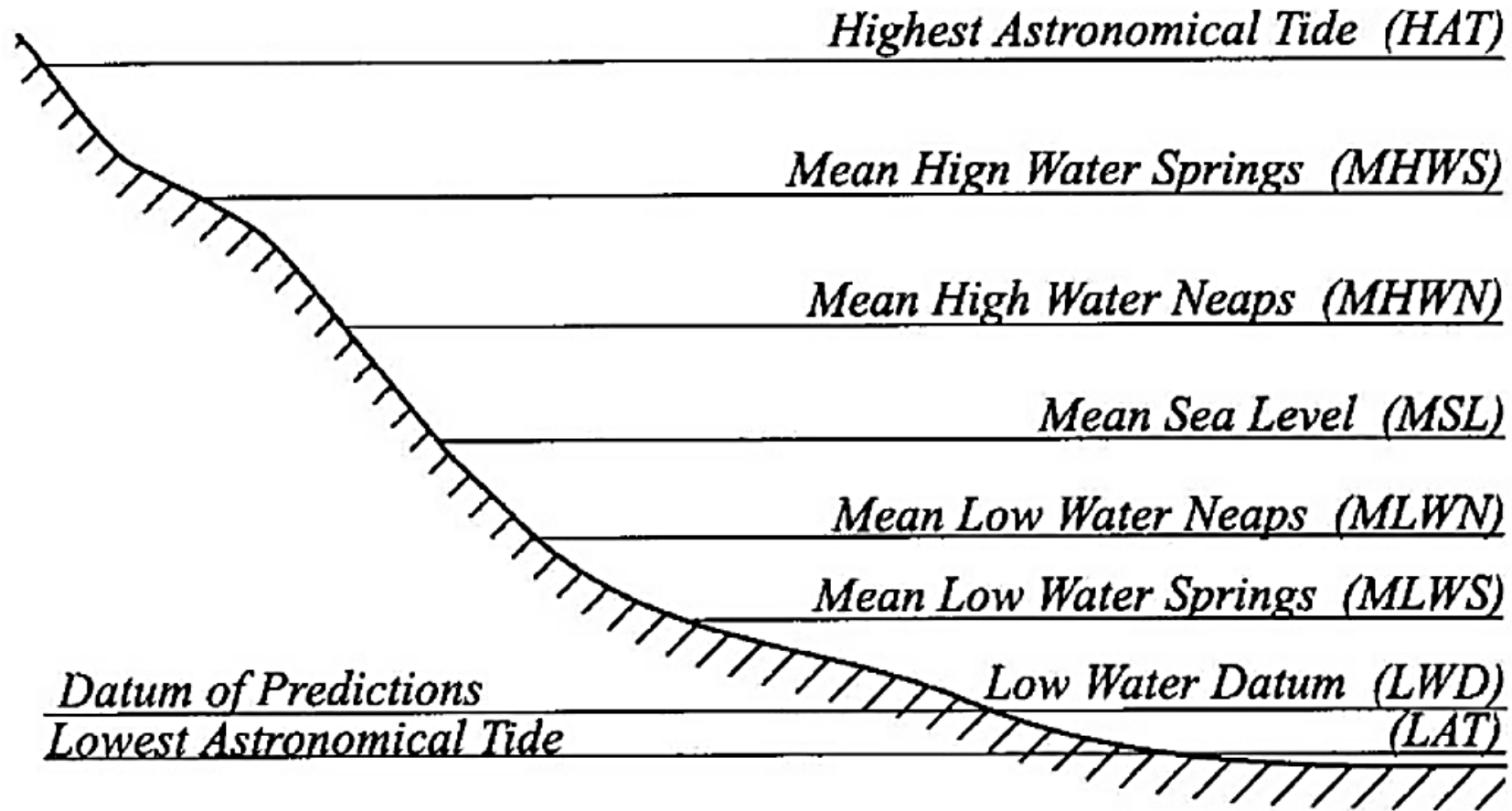
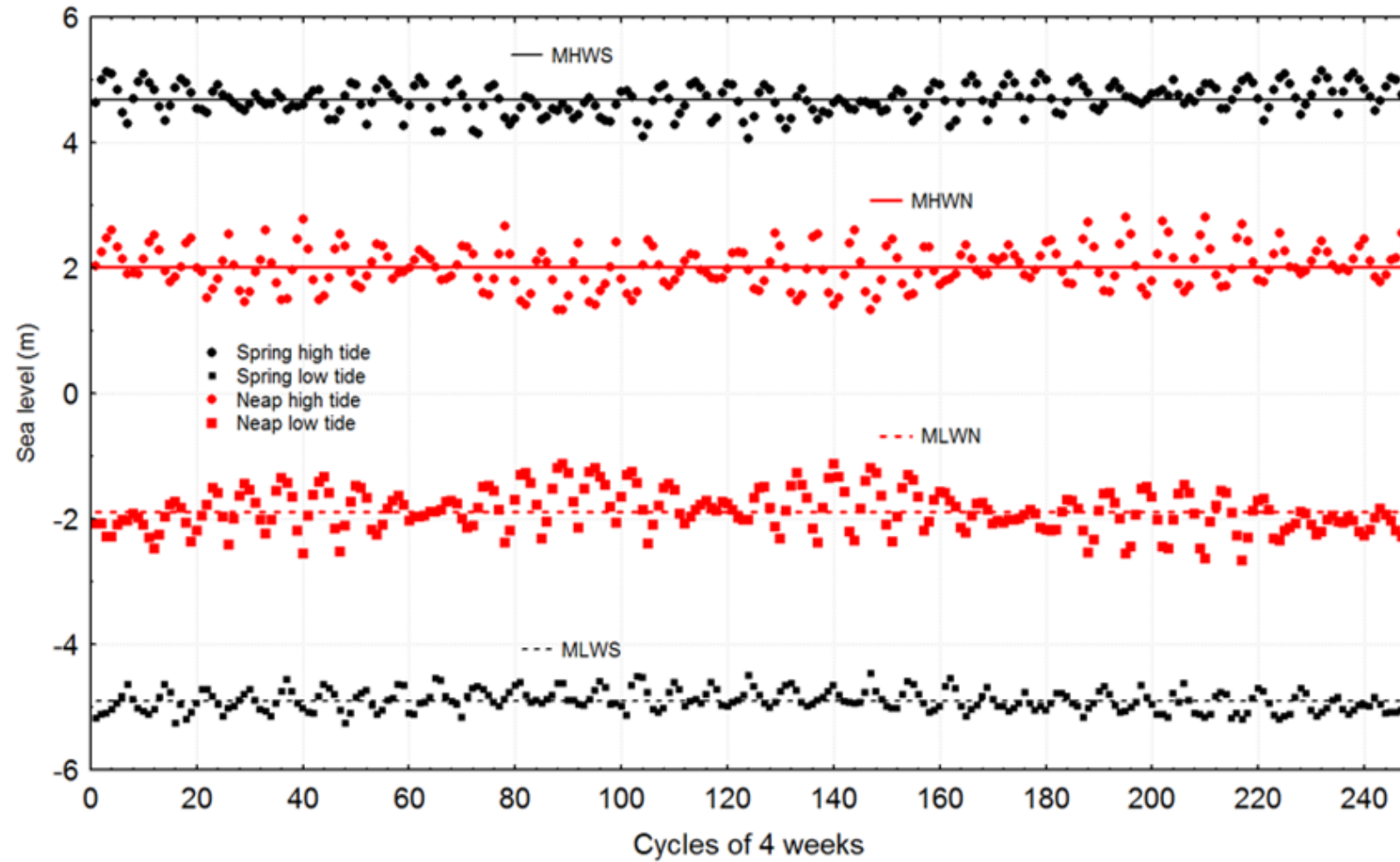


Figure 3-6. Definitions of characteristic tide levels (after Massel, 1999)

PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA

Figure 4.2.4.1 Series of mean values of high tide and low tide during spring tide and neap tide.
Method for 4 significant values every 4 weeks.



Marea meteorológica

Las sobreelevaciones del nivel del mar por acción meteorológica. Son esencialmente aleatorias y se superponen a las variaciones de las mareas, de modo que pueden producirse niveles totales de agua por encima de HAT y por debajo de LAT.



BOLIVAR PENINSULA IN TEXAS AFTER HURRICANE IKE (2008)

What is Storm Surge?

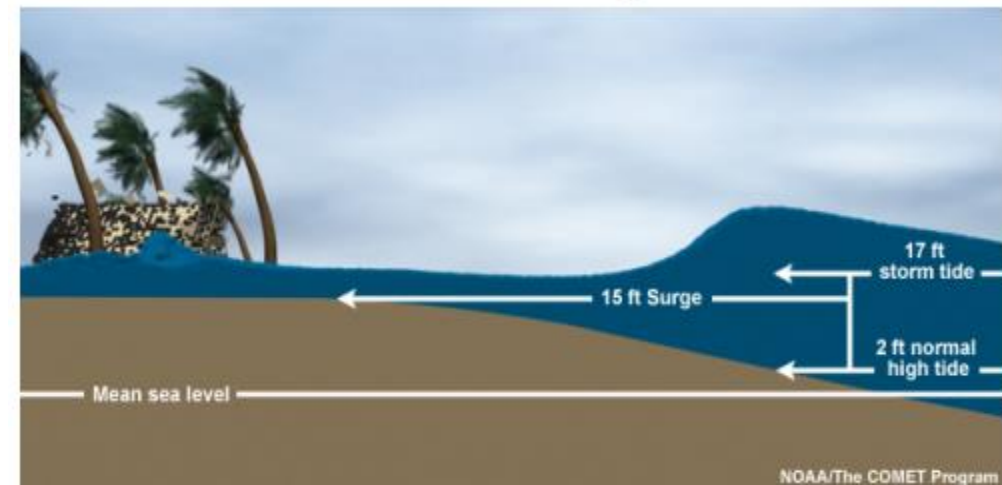
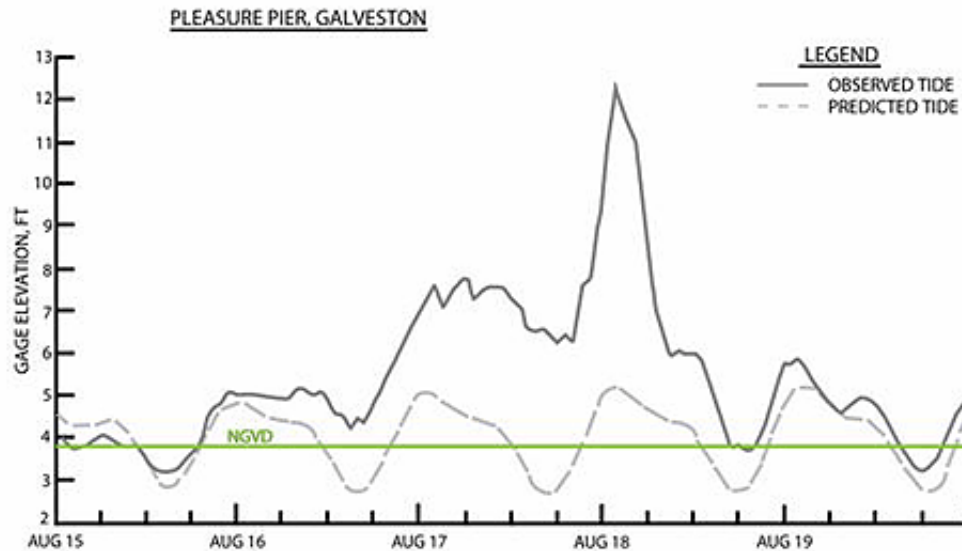


Figure 3.3. Storm surge at Galveston, Texas, from Hurricane Alicia in 1983.



PROFUNDIDAD DEL AGUA, MAREAS Y “STORM SURGES” O MAREA METEOROLÓGICA

En base a (ESSA, 2015) se presenta la sobreelevación de los niveles del mar por efecto del viento para el Punto P1, ubicado en aguas de 15 m al NMM, para distintos períodos de retorno, RP. En la misma tabla se presentan dichos niveles extrapolados a la zona costera, habiéndose calculado un ajuste máximo de 0.1 m por encima del valor en el Punto P1, para un RP de 100 años.

Sobreelevación del nivel del mar por efecto del viento, S, para el Punto P1 (h=18m), en aguas de 15 m de profundidad al NMM, y para la costa

RP (años)	Punto P1 S (m)	COSTA S (m)
100	1.2	1.3
50	1.1	1.2
25	0.9	1.0
20	0.9	1.0
10	0.8	0.8
5	0.7	0.7
2	0.6	0.6
1	0.6	0.6