

# DESCRIPCION DE LA OCURRENCIA DE SISMIOS A TRAVES DE UNA DISTRIBUCION ASINTOTICA DE VALORES EXTREMOS

A.M.Osella,

*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad de Buenos Aires, Pabellón 1, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires.*

N.C.Sabbione,

*Departamento de Sismología, Facultad Ciencias Astronómicas y Geofísicas,  
Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque, 1900 La Plata.*

y D.C.Cernadas,

*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad de Buenos Aires, Pabellón 1, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires.*

En este trabajo se estudia parcialmente el riesgo sísmico de las provincias de Salta, Jujuy, La Rioja y Catamarca. Para ello se utiliza un método estadístico que sólo tiene en cuenta los valores extremos, semestrales, del catálogo de terremotos de cada región.

El modelo aplicado, conocido como Gumbel III, está basado en una función de tipo asintótica. Los resultados que se obtienen son los valores de tres parámetros: una magnitud que es una cota para cada región, una magnitud característica y un parámetro ligado a la curvatura de la función distribución. Con estos parámetros se pueden determinar otros valores de interés para la prevención sísmica: la magnitud asociada a la energía media liberada por año en cada zona, tiempo de recurrencia para una magnitud dada y magnitudes extremas modales para un tiempo dado.

## INTRODUCCION

La elección de lugares de emplazamiento de estructuras civiles potencialmente peligrosas, como represas o plantas nucleares, hace imprescindible el estudio del riesgo sísmico de una región.

Utilizando el postulado de estabilidad, que sostiene que el ritmo de terremotos a escala histórica es aproximadamente estacionario y que la ocurrencia de sismos puede asociarse a procesos estocásticos, es posible hacer dos tipos generales de análisis de datos.

El primero consiste en suponer que la ocurrencia de terremotos constituyen sucesos dependientes de tipo Markoviano. El otro método supone una independencia de tipo Poissoniano entre los sismos.

Uno de los métodos más utilizados es el que aplica el modelo estadístico conocido por Gumbel III<sup>(1)</sup>, que se utilizará en este trabajo para analizar registros del noroeste de nuestro país. Su ventaja más importante es que sólo se necesitan conocer las magnitudes sísmicas máximas de cada lapso elegido en la zona a estudiar. Esta característica es de fundamental valor ya que los registros sísmicos no son completos y las magnitudes mejor determinadas son siempre las más intensas.

## DESCRIPCION DEL METODO

La función de distribución asintótica de valores extremos Gumbel III<sup>(2)</sup>:

$$G(m) = \exp [-(w-m / w-u)^k] \quad (1)$$

donde  $m$  es la magnitud máxima del intervalo de tiempo dado,  $w$  es la cota superior de las magnitudes en una región,  $u$  es una magnitud característica y  $k$  es el factor de curvatura. Para obtener los valores de  $w, u$  y  $k$  se ordenan las magnitudes extremas en orden ascendente y se les asigna una probabilidad usando la regla de Gringorten<sup>(3)</sup>:

$$g(m_j) = (j - 0.14 / N + 0.12) \quad (2)$$

siendo  $N$  el número de intervalos con datos y  $m_j$  el  $j$ -ésimo dato. Esta regla es la que mejor se adapta para este tipo de distribuciones, pero no es única.

La ecuación de distribución puede escribirse como:

$$m_j = w - (w-u) (-\ln(G(m_j)))^l \quad (3)$$

siendo  $l = 1/k$  y  $j = 1, 2, \dots, N$ .

El método de ajuste de esta curva a los valores

extremos se realiza empleando una técnica desarrollada por Marquard<sup>(4)</sup>. Con los valores obtenidos puede hallarse la matriz de covarianza E. Los elementos diagonales de la matriz dan las varianzas de los parámetros y permiten verificar si se cumple que  $E_{ww}$  sea negativo y alto, lo que equivale a un factor de correlación cercano a -1<sup>(1)</sup>.

De la condición de extremo modal,

$$d^2P / dm^2 = 0 \quad (4)$$

se puede obtener la magnitud extrema modal para los T próximos años:

$$m(T) = w - (w - u) \left( (1 - 1/T)^l \right) \quad (5)$$

Conociendo la matriz E se obtiene por propagación de errores, el error de m(T). Se debe verificar que este error (desviación standard) tienda al de w cuando T sea suficientemente grande.

La magnitud asociada a la energía máxima liberada por unidad de tiempo<sup>(1)</sup>:

$$M = w + (\ln(C(k)/1.44^k) / 1.44 \ln(10)) \quad (6)$$

donde  $C = k / (w - u)^k$  y  $\Gamma(k)$  es la función gamma. La energía media anual liberada en la región, e, para  $m = M$  está dada por:

$$\ln(e) = 12.4 + 1.44 m \quad (7)$$

Por último, el período de retorno o tiempo de recurrencia para un sismo de magnitud m está dado por<sup>(5)</sup>:

$$T(m) = 1 / (1 - G(m)) \quad (8)$$

## DATOS

Para la obtención de los resultados se empleó el catálogo de terremotos del Banco Argentino de Sismos<sup>(6)</sup> para las provincias de Salta, Jujuy, La Rioja y Catamarca. Los registros de este Banco fueron confeccionados por el International Seismological Centre de Berkshire, Gran Bretaña, y cubren temblores desde el año 1964 hasta 1988. Se tomó como unidad el semestre, es decir, se consideraron 49 intervalos, cifra significativa comparada con trabajos similares realizados en otras áreas<sup>(7)</sup>.

## RESULTADOS

En base al estudio previo del Banco de Datos, se comenzó por las provincias del noroeste argentino, ya que poseen los registros más completos del país, superando incluso a otras más activas desde el punto de vista sísmico.

En la Tabla 1 se muestran los valores hallados para cada zona y sus errores, junto con los valores de M y E. En la Tabla 2, se detallan los tiempos de recurrencia para cada magnitud con sus errores y en la Tabla 3 los valores de las magnitudes extremas modales para distintos períodos.

Los gráficos 1,2,3 y 4 muestran el ajuste de las curvas con los datos para las cuatro provincias, respectivamente.

Se han obtenido buenos ajustes en todos los casos.

Respecto a los errores relativos, los correspondientes al parámetro l son altos. Esto se debe a que el ajuste de la curva es poco sensible a variaciones en este parámetro.

El error en w, aunque relativamente más pequeño que el anterior, también es alto. Sin embargo,

PROVINCIA	w	D.S. (w)	u	D.S. (u)	l	M	E (erg)
SALTA	6.31	0.94	5.07	0.11	0.31	5.75	$2.8 \times 10^{20}$
JUJUY	6.41	0.98	5.00	0.11	0.33	5.82	$3.4 \times 10^{20}$
LA RIOJA	6.06	1.07	4.87	0.11	0.34	5.50	$1.2 \times 10^{20}$
CATAMARCA	5.96	0.83	4.75	0.11	0.38	5.39	$7.9 \times 10^{19}$

Tabla I: En esta tabla se exhiben los parámetros de la distribución de GUMBEL III (w, u, l), hallados para cada provincia con sus desviaciones standards respectivas (D.S.). La D.S. (l), se omite, siendo aproximadamente del 100% de l. También se tabula el valor de la magnitud asociada con la energía media liberada (M) y esta última (E).

debe tenerse en cuenta que este es un parámetro estadístico y que los errores asociados son inherentes al tipo de distribución<sup>(8)</sup>.

PROVINCIA	SALTA	JUJUY	LA RIOJA	CATAMARCA
m	T (m)	T (m)	T (m)	T (m)
4.0				1.12
4.7	1.13			
5.0	1.47	1.61	2.00	2.38
5.5			12.05	16.66
5.7			50.12	
6.0	49.99	49.00		

Tabla II: En esta tabla se muestran los tiempos de recurrencias  $t(m)$ , de las magnitudes  $m$  respectivas, para cada provincia estudiada.

T	JUJUY		SALTA		CATAMARCA		LA RIOJA	
	m (T)	D.S.	m (T)	D.S.	m (T)	D.S.	m (T)	D.S.
1	5.43	0.01	5.46	0.01	5.19	0.01	5.22	0.01
10	5.96	0.01	5.92	0.01	5.65	0.01	5.65	0.01
25	6.08	0.01	6.03	0.01	5.74	0.01	5.76	0.01
50	6.15	0.01	6.09	0.01	5.79	0.01	5.82	0.01
75	6.18	0.01	6.12	0.01	5.82	0.01	5.85	0.01
100	6.20	0.01	6.13	0.01	5.83	0.01	5.86	0.01

Tabla 3: Se pueden apreciar aquí las magnitudes extremas modales  $m(T)$ , para distintos tiempos  $T$  en años, con sus respectivas desviaciones standards (D.S.), para cada provincia estudiada.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente subvencionado por CONICET.

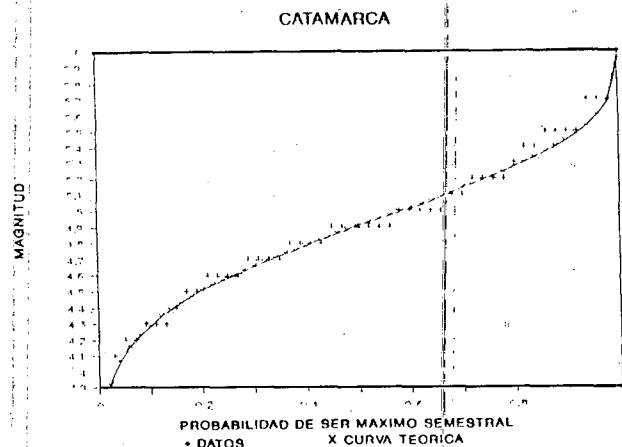


Figura 1:

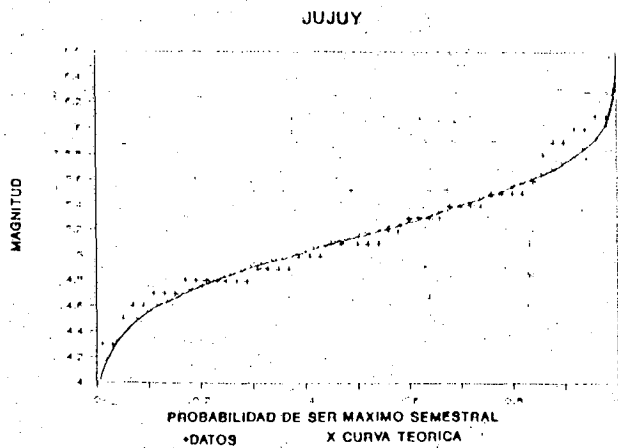


Figura 2:

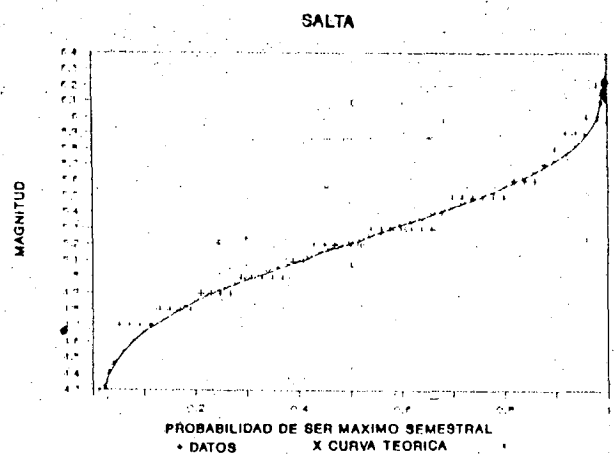


Figura 4:

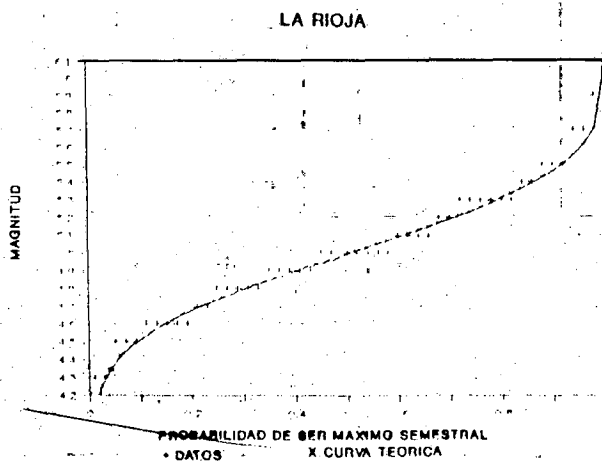


Figura 3:

#### REFERENCIAS

1. Burton, P. y K. Makropoulos. *Pageoph*, 123, 849-869, 1985.
2. Gumbel, E.J.. *Statistic of Extremes Values*. Columbia Univ. Press, 375pp, '1967'.
3. Gringorten, I.I. *J. Geophys. Res.*, 68, 813-814, 1967.
4. Marquard, D.W. *J. Sc. Indust. Appl. Math.*, 2, 431-441. 1963.
5. Bath, *Introduction to Seismology*, Birchlauser-Verlag, 1973.
6. Jaschek, E. y N. Sabbione. *Banco de Sismos Argentinos*. FCAG.UNLP., 1962.
7. Roca, A., Arroyo, A.L. y Suriñach, E. 1984. *S-pain. Eng. Geol.*, 20, 63-71, 1984.
8. Burton, P. 1990. *Natural Hazards*, 3, 275-291, 1990.