



Estimaciones de las recurrencias sísmicas en Chiayi-Tainan, Taiwán

Pavel Santiago Hernández Hernández

pavel.hernandez69@unach.mx





RESUMEN

Este estudio investiga la periodicidad de terremotos en la región de Chiayi-Tainan utilizando el método de cadenas de Markov. Se analizaron datos de terremotos con magnitud $(M_L) \ge 4$ durante el periodo de 1900 a 1995 y $M_L \ge 2$ entre 1973 y 1995. El análisis revela un patrón significativo en la recurrencia de los terremotos, sugiriendo que el método de cadenas de Markov es una herramienta eficaz para modelar el comportamiento sísmico. Estos resultados contribuyen a una mejor comprensión de la dinámica de los terremotos y pueden ser valiosos para la evaluación del riesgo sísmico en la región.



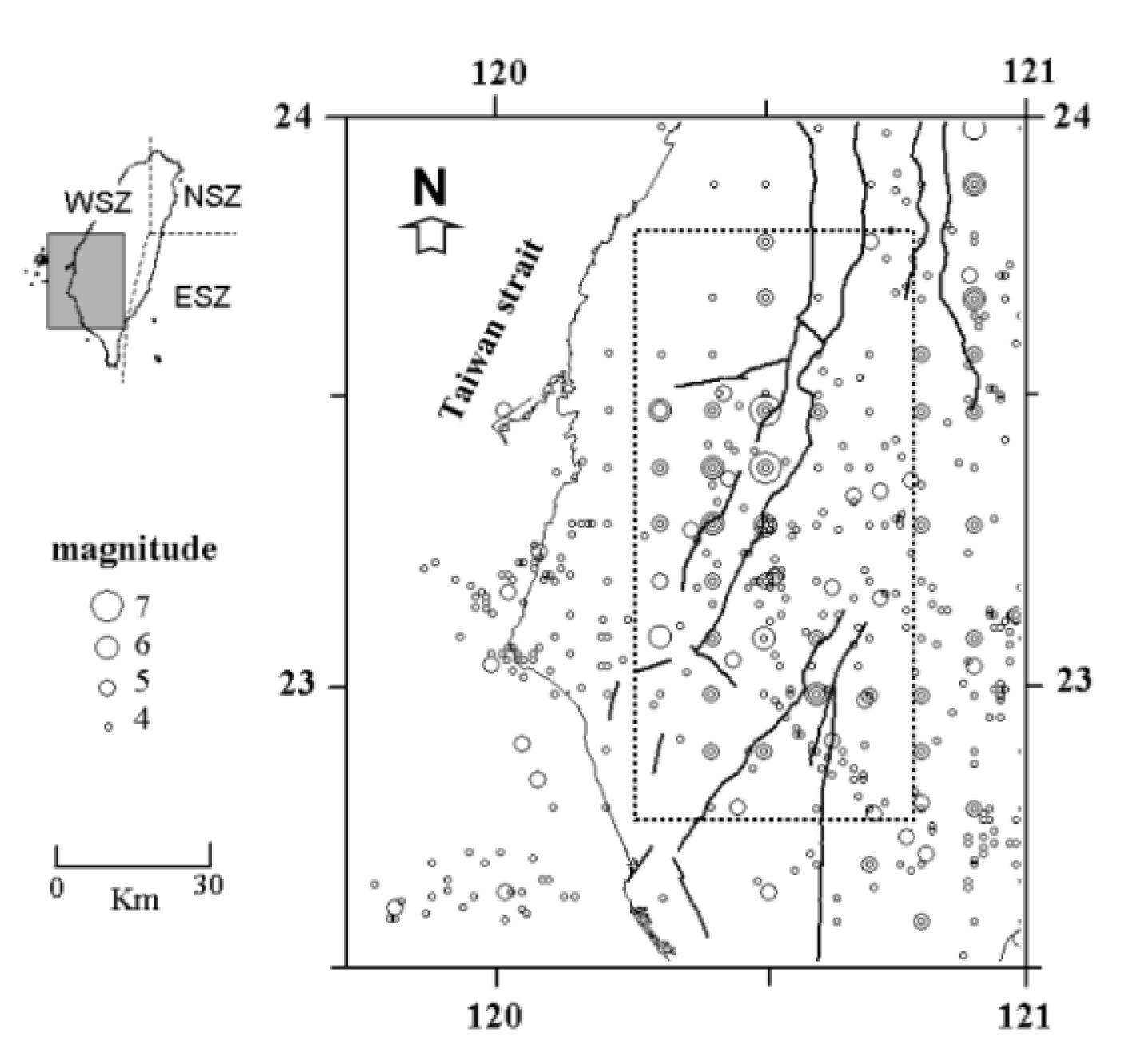


Figura 1: Mapeo de terremotos en Taiwan.

Se han categorizado tres cinturones sísmicos, conocidos como la zona sísmica occidental (WSZ), la zona sísmica oriental (ESZ) y la zona sísmica noreste (NSZ). La zona de estudio se encuentra entre 22.80° N y 23.80° N (latitud) y 120.25° E y 120.75° E (longitud). Esta región cuenta con doce fallas activas. La mayoría de los terremotos en esta área son superficiales, no superando los 70 km de profundidad. Los terremotos se cuantifican con la escala de magnitud local de Richter, representada como M_L . En este estudio se prepararon dos conjuntos de datos: uno contiene terremotos con $M_L \ge 4$ (283 eventos) durante el periodo de 1900 a 1995, y el otro contiene terremotos con $M_L \ge 2$ (3816 eventos) durante el periodo de 1973 a 1995.

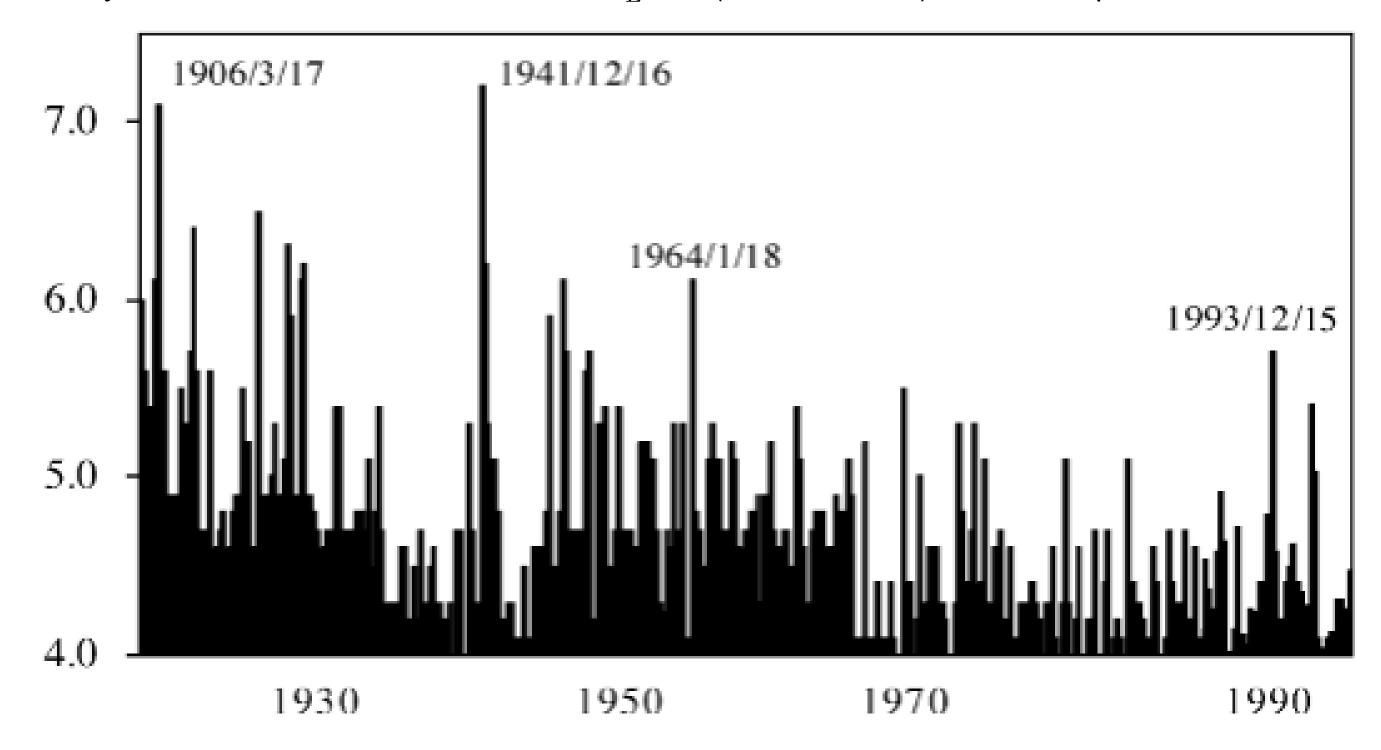


Figura 2: Terremotos de magnitud $M_L \ge 4.0$ ocurridos en el área de estudio desde 1900 hasta 1995.

La Figura 2 muestra la secuencia de terremotos con $M_L \ge 4$, evidenciando la tendencia decreciente de la intensidad sísmica. Dos grandes terremotos con $M_L = 7.1$ y $M_L = 7.2$ ocurrieron en 1906 y 1941, respectivamente. Sin embargo, los dos últimos terremotos de gran daño ($M_L = 6.3$ y $M_L = 6.4$), que ocurrieron el 17 de septiembre de 1998 y el 22 de octubre de 1999, no fueron incluidos en el conjunto de datos.

ÁNALISIS

De acuerdo a la relación de Chapman–Kolmogorov sugiere que la matriz de transición tiene la característica de

$$P_s^m = P_s^{m-1} \cdot P_s$$

Para un estado recurrente, $p_{kk}^{(s)}$ denota la probabilidad de comenzar en el estado k y regresar al estado k en el tiempo s. Según el teorema del límite para cadenas de Markov, si k es aperiódico, es decir, un estado que se repite en un ciclo no constante, entonces

$$\lim_{m \to \infty} p_{kk}^{(s)} = \frac{1}{u_k},$$

donde u_k es su periodo medio de retorno. Si la ocurrencia de un terremoto está estrechamente relacionada con la del anterior, se puede aplicar una cadena de Markov especificada con una transición de un paso para estudiar la periodicidad sísmica y hacer las construcciones de las siguientes matrices:

studial la periodicidad sistilica y flacer las coristidociones de las siguientes matrices.														
Periodo						1973 - 1995								
Matriz de frecuencia						Matriz de probabilidad					Matriz de probabilidad			
de transición de						transición hacia adelante				d	de transición hacia atrás			
	M_2 .	M_3	M_4	M_5)	Λ	I_2 M_3	M_4	M_5		N	I_2 M_3	M_4	M_5
M_2	$ \boxed{2217} $	548	52	8	M_2	0.785	0.194	0.018	0.003	M_2	0.740	0.625	0.510	0.667
M_3	539	293	42	3	M_3	0.615	0.334	0.048	0.003	M_3	0.191	0.334	0.412	0.250
M_4	59	36	7	1	M_4	0.578	0.353	0.069	0.000	M_4	0.021	0.041	0.069	0.083
M_5	_ 10	0	1	0	M_5	0.909	0.000	0.091	0.000	M_5	0.004	0.000	0.010	0.000
Periodo 1990-1995														
Matriz de frecuencia						Matriz de probabilidad					Matriz de probabilidad			
de transición de						transición hacia adelante					de transición hacia atrás			
M_4 M_5 M_6 M_7					7	M_4 M_5 M_6 M_7					M_4 M_5 M_6 M_7			
M_4		37	3 (M_4	[0.186]	0.170	0.014	[0.000]	M_4	0.186	0.698	0.300	0.000
M_5	35	13	5	1	M_5	0.648	0.240	0.093	0.019	M_5	0.161	0.245	0.500	0.500
M_6	4	3	1 1	1	M_6	0.444	0.333	0.111	0.111	M_6	0.018	0.057	0.100	0.500
M_7		0	1 (M_7	0.500	0.000	0.500	$\left\lfloor 0.000 \right\rfloor$	M_7	0.005	0.000	0.100	0.000
			F	eric	odo 19	990-199	95		Perio	do 19	73-199	95		
Matriz de						transición Matriz de				z de tr	transición			
ergó						dica ergć				ergód	dica			
				Λ	I_4 M	M_5 M_6 M_7 M_2 M_2				I_2 M_2	M_4	M_5		
		M_4	$\int 0.$	769	0.188	0.036	0.007	M_2	[0.740]	0.230	0.027	0.003		
		M_5	0.	769	0.188	0.036	0.007	M_3	0.740	0.230	0.027	0.003		
		M_6	0.	769	0.188	0.036	0.007	M_4	0.740	0.230	0.027	0.003		
		M_7	$\begin{bmatrix} 0. \end{bmatrix}$	769	0.188	0.036	0.007	M_5	[0.740]	0.230	0.027	0.003		

Después de multiplicar 15 veces la matriz de probabilidad de transición hacia adelante, todos los elementos retienen valores constantes hasta la sexta cifra decimal, lo que lleva a una matriz de estado ergódico.

APLICACIÓN

La distribución estacionaria que se encontró mediante simulaciones está dada por

$$\pi = (0.740, 0.230, 0.027, 0.003).$$

Los terremotos de magnitud M_2 o superior tienden a ocurrir en esta región aproximadamente una vez cada cuatro meses. Si ocurre un terremoto de magnitud M_5 , los investigadores desearían saber cuánto tiempo pasará antes de que ocurra otro terremoto de magnitud M_5 .

El número esperado de transiciones de la cadena de Markov entre terremotos de magnitud M_5 es

$$\frac{1}{\pi_M} = \frac{1}{0.003} = 333.$$

Si los terremotos ocurren, en promedio, cada cuatro meses, entonces, según el modelo, tomará aproximadamente $333 \times (4/12) = 111$ años antes de que ocurra otro terremoto de magnitud M_5 .

REFERENCIAS

- [1] Introduction to Stochastic Process with R. Robert P. Dobrow
- [2] Estimates of earthquake recurrences in the Chiayi-Tainan area, Taiwan. Heng Tsai. National Changhua University of Education · Department of geography.