

## Sismicidad del territorio cubano del período 1998 a 2003. Determinación de los parámetros del régimen sísmico

Dr. C. Ing. José Alejandro Zapata Balanqué

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

[zapata@cenais.cu](mailto:zapata@cenais.cu)

### RESUMEN

La necesidad del estudio periódico de la sismicidad de una región y con ello del régimen sísmico de las zonas sismocativas posibilita el conocimiento de su potencialidad, los parámetros de su actividad y su liberación energética. En Cuba a pesar de la existencia de registros sismológicos, no se han regularizado estos estudios, siendo el último el realizado durante las investigaciones para proyecto en los sitios seleccionados para la Central Electroenergética del Norte de Oriente (1990) y de la Central Hidroenergética Toa – Duaba (1992) ambas en la zona oriental del país.

Se presentan los resultados de la evaluación anual del régimen sísmico (años 1998 a 2003) de la región oriental de Cuba con la información registrada por las estaciones del Servicio Sismológico Nacional Cubano, utilizándose como elementos de partida la ubicación espacial de los terremotos, sus magnitudes, profundidades, curvas de descarga energética y sus relaciones magnitud frecuencia. La evaluación de estos estadígrafos permite el análisis del comportamiento espacio temporal de la actividad sísmica. Se introducen comparaciones con determinaciones realizadas anteriormente (1979 – 1989) y se evalúan ajustes producto de los cambios de la cobertura del sistema durante la etapa de estudio.

### INTRODUCCION

El análisis de la relación magnitud - frecuencia espacial y temporalmente posibilita conocer el comportamiento de la sismicidad y potencialidad de una zona sismoactiva aportando los parámetros (comportamiento) de su regularidad (régimen sísmico) para otras investigaciones. En estudios realizados en Cuba por Chuy (1980), Alvarez (1983) y Alvarez y Chuy (1992), se utilizaron diferentes intervalos espaciales, temporales, de magnitud, así como del número de estaciones utilizadas, lo cual expondremos posteriormente, como elemento para la discusión y evaluación de los resultados. La metodología de cálculo utilizada estuvo basada en el empleo de métodos estadísticos como comúnmente se realizan estos análisis.

Presentamos los resultados del análisis para el intervalo de 1998 al 2003, período de tiempo en el cual se trabajó con estaciones digitales de banda ancha y corto período y una red de estaciones que aportaba una cobertura adecuada por proyecto para terremotos con magnitudes de 1.5 Richter (Zapata, et al, 2002). La zona seleccionada para el estudio es la comprendida desde los 19.3 a los 22.0 grados de Latitud Norte y los 74.0 a los 78.0 grados de Longitud Oeste, que comprende las zonas de Santiago – Baconao, Guantánamo – Maisí, Cabo Cruz – Pílon y Moa Purial como sectores donde han ocurrido 23 de los 28 terremotos fuertes de la historia sísmica cubana.

En este sentido diferentes investigadores (Salcedo, et al, 1997) han aportado sus experiencias a estudios de este tipo, por ejemplo, Rikitake (1975) consideraba que se han podido observar como diferentes parámetros sufren importantes variaciones que pueden ser consideradas como precursores de terremotos, dentro de estos parámetros para la predicción de terremotos se encontraba el parámetro  $b$ . Ogata and Katsura (1993) describen que Utsu en 1971 revisó más de 250 artículos que para ese tiempo incluían descripciones de los valores de  $b$  y relacionaba cantidades para terremotos ocurridos en algunas regiones del mundo. Utsu reportó que  $b$  comúnmente toma un valor cercano a la unidad y varía aproximadamente en un intervalo entre 0,3 y 2,0. Otros como Suyehiro (1966) y Smith (1981) plantean que no existe un acuerdo sobre si  $b$  aumenta o disminuye antes de un terremoto fuerte pero que si presenta comportamientos particulares para cada región y que actúa como un premonitor de terremotos.

En zonas tradicionalmente sismoactivas como la parte suroriental del archipiélago cubano los estudios del proceso y el régimen sísmico para la estimación de los parámetros de la frecuencia de ocurrencia de los terremotos, es decir, la función Gutenberg y Richter  $N(M)$ , conocida también como relación magnitud – frecuencia, contiene como principal incertidumbre la fijación de intervalos espaciales (latitud, longitud y profundidad), temporales (rangos de tiempo para el análisis) y de magnitud.

En la relación magnitud – frecuencia:

$$\lg N(M) = a - b M$$

de donde:

- La pendiente (**b**) que representa la frecuencia de ocurrencia de terremotos y es una muestra de la relación entre los terremotos pequeños y grandes.
- La actividad sísmica (**a**) tomado como el inicio de la ordenada de este gráfico.
- La magnitud del terremoto máximo posible ( $M_{max}$ ), la cual se define en la intersección del gráfico de frecuencia de terremotos con el eje de las abscisas.

El régimen sísmico tiene como principal característica la frecuencia media de ocurrencia en un período largo, quedando establecida por la ley y el gráfico que muestran la frecuencia con que se repiten los terremotos de determinada magnitud en una región dada, que están representados por una función estadística de distribución de frecuencia de ocurrencia de los terremotos, por su magnitud **M**. Es claro, que esta ecuación representa la relación entre la frecuencia de ocurrencia de terremotos y la magnitud, y es un importante factor para el estudio de la sismicidad. Algunas diferencias en el valor del parámetro **b** han sido observadas entre diferentes regiones sísmicas, como también han sido muchas las discusiones del significado de estas diferencias. Así mismo, analizando la actividad sísmica en la misma región se pueden observar cambios en el tiempo, incluyendo la actividad sísmica ordinaria y la réplicas.

### **ESTACIONES SISMOLOGICAS DEL SERVICIO SISMOLOGICO NACIONAL CUBANO**

El Servicio Sismológico Nacional Cubano (SSNC) desde su creación en 1964 ha pasado por diferentes etapas tanto por el número de estaciones, la tecnología de captación y registro, así como por la cobertura producto del número de estaciones, las cuales se presentan en la **Tabla 1** y **Figura 1**.

La operación de estas estaciones cubre cuatro (4) etapas, que son:

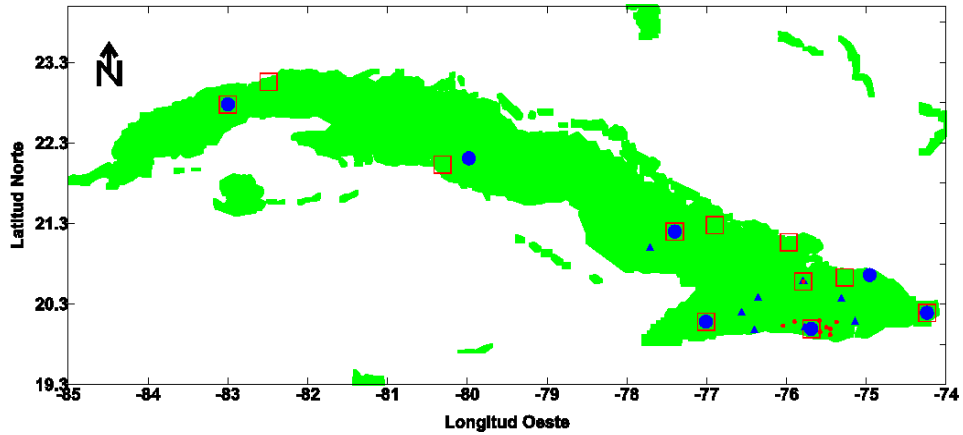
1. Trabajo independiente de dos estaciones (1964 - 1979).
2. Red de cinco estaciones asistidas corto período (1979 - 1986).
3. Red de once estaciones asistidas corto período (10 en la región oriental y una en la occidental) y otras seis telemétricas analógicas en Santiago de Cuba (1986 - 1990).
4. Red digital de siete estaciones asistidas de banda ancha, cuatro acelerógrafos, 7 estaciones telemétricas y un sistema telemétrico móvil con cobertura de todo el país (1998 – 2004).

Los trabajos realizados por Chuy (1980), Alvarez (1983) y Alvarez y Chuy (1992) tuvieron como punto de partida los requerimientos que se presentan en y cubrieron las áreas que se presentan en la **Figura 2**, así como los parámetros resultantes en la **Tabla 3**. Es importante plantear que la información utilizada en los estudios fue la siguiente:

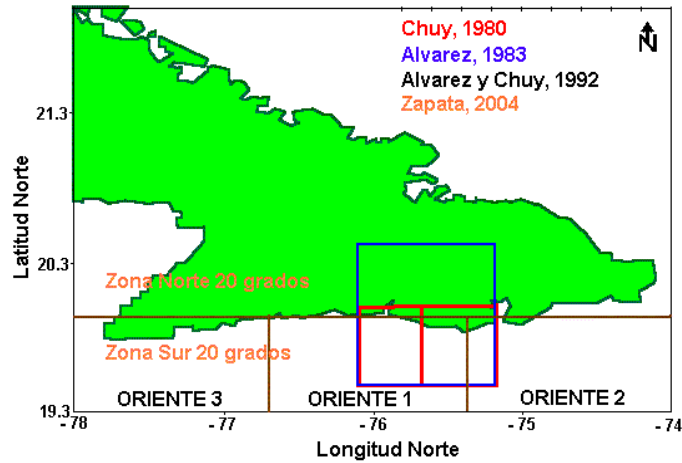
- Chuy (1980) utilizó sólo los datos de la estación RCC (8 años).
- Alvarez (1983) utilizó los datos de RCC e internacionales (13.5 años).
- Alvarez y Chuy (1992) utilizaron los datos de las 10 estaciones analógicas e internacionales (25 años).
- Zapata (2004) utilizó los datos de las estaciones analógicas (1979 –1997) y digitales (1998 – 2003), se tomó un intervalo de magnitudes de 0.5 y como magnitud representativa 2.0 Richter.

**Tabla I.** Localización y nomenclatura de las estaciones sismológicas principales de primer orden (Banda Ancha).

Estacion	Lat. N	Lon. W	H	Año	Nombre	Provincia
SOR	22.78	- 83.00	206.0	1964	Soroa	Pinar del Río
RCC	19.99	- 75.69	103.0	1965	Río Carpintero	Santiago de Cuba
MASC	20.19	- 74.24	419.0	1979	Maisí	Guantánamo
LMGC	20.08	- 77.01	165.0	1979	Las Mercedes	Granma
CCCC	21.20	- 77.40	90.0	1982	Cascorro	Camaguey
MGV	22.11	- 79.98	350.0	1998	Manicaragua	Villa Clara
MOAC	20.66	- 74.96	50.0	1999	Moa	Holguín



**Figura 1.** Estaciones del Servicio Sismológico Nacional Cubano (SSNC) durante todas sus etapas. En cuadrados rojos (estaciones asistidas antes de 1998), en círculos azules (estaciones asistidas digitales después de 1998), en puntos rojos (estaciones telemétricas analógicas antes de 1998) y en triángulos azules (estaciones telemétricas digitales después de 1998).



**Figura 2.** Localización espacial del área de los estudios presentados por Chuy (1980), Alvarez (1983), Alvarez y Chuy (1992) y Zapata (2004)

**Tabla 2.** Localización y nomenclatura de las estaciones sismológicas de segundo orden (Corto Período).

Estacion	Lat. N	Lon. W	H	Año	Nombre	Provincia
PINC	20.58	- 75.79	647.0	1979	Pinares de Mayarí	Holguín
BAZ	20.63	- 75.27	160.0	1987	Bazán	Holguín
HLG	20.91	- 76.21	120.0	1985	Holguín	Holguín
HAB	23.06	- 82.49		1985	Habana	Ciudad Habana
MAN	21.28	- 76.90	20.0	1986	Manatí	Las Tunas
TUM	21.07	- 75.97	40.0	1986	Tumbadero	Holguín
JUL	19.95	- 75.58		1988	La Julia	Santiago de Cuba
VIL	20.08	- 75.37		1988	Villalón	Santiago de Cuba
BON	20.08	- 75.90		1988	Boniato	Santiago de Cuba
BAC	19.92	- 75.46		1989	Baconao	Santiago de Cuba
MAG	20.03	- 76.04		1989	La Margarita	Santiago de Cuba
LOR	20.10	- 75.59		1989	Loreto	Santiago de Cuba
PAL	19.99	- 75.45		1989	Palenque	Guantánamo
TRU	20.01	- 75.50		1989	Trucucú	Santiago de Cuba
CEN	22.03	- 80.31	20.0	1995	CEN Juraguá	Cienfuegos
GTMO	20.08	- 75.14	54.9	1998	Guantánamo	Guantánamo
SABC	20.36	- 75.31	400.0	1998	Sabaneta	Guantánamo
CISC	20.00	- 75.77	90.0	1998	CIES	Santiago de Cuba
YARC	20.37	- 76.36	200.0	1998	Yarey	Granma
BEL	21.00	- 77.71	109.0	2000	Belén	Camaguey
PLAC	20.19	- 76.56	900.0	2001	Punta de Lanza	Granma
CHIC	19.97	- 76.40	15.0	2002	Chivirico	Santiago de Cuba

No se profundiza en el estudio de la sismicidad y los catálogos pues existen estudios recientes al respecto (Alvarez, et. al, 1999, Chuy 2003, Chuy, 2004 y Zapata, et al, 2002a, b).

**Tabla 3.** Resultados de los trabajos anteriores realizados por Chuy (1980), Alvarez (1983) y Alvarez y Chuy (1992). De Zapata (2004) sólo se presentan las coordenadas, los resultados en las **Tablas 4 y 5**.

Autores	Zona	Latitud N	Longitud W	a	b
Chuy, 1980	4	19.50 a 20.00	- 75.66 a - 76.08	0.09	- 0.42
	5	19.50 a 20.00	- 75.17 a - 75.67	0.24	- 0.44
Alvarez, 1983	1	19.50 a 20.50	- 75.20 a - 76.20	1.48	- 0.53
Alvarez y Chuy, 1992	Oriente 1	19.30 a 20.00	- 75.20 a - 76.80	2.40	- 0.65
	Oriente 2	19.30 a 20.00	- 74.00 a - 75.19	1.62	- 0.58
	Oriente 3	19.30 a 20.00	- 76.81 a - 78.00	0.60	- 0.58
Zapata (2004)	Norte	20.01 a 22.00	- 74.00 a - 78.00		
	Sur	19.30 a 20.00	- 74.00 a - 78.00		

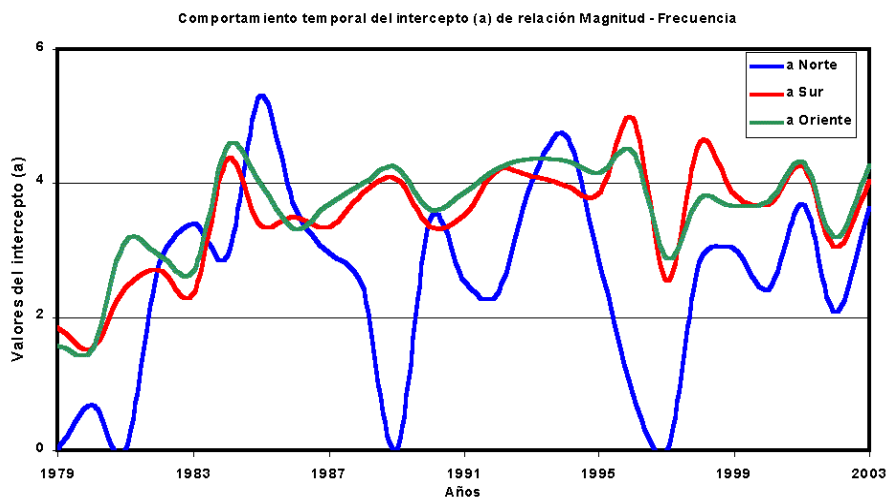
### PARAMETROS TEMPORALES DE LA RELACION MAGNITUD – FRECUENCIA EN CUBA ORIENTAL

La selección de las zonas presentadas en este trabajo se justifica debido a la necesidad de discernir los parámetros y las diferencias existentes entre la sismicidad producto de las placas de Norteamérica y el Caribe (conocida como extraplaca) de la generada dentro del archipiélago (conocida como intraplaca), es por ello que se utiliza la Latitud 20.00 grados Norte como límite para el estudio, pero fue necesario ampliar el intervalo de tiempo para el estudio con el objetivo de establecer las comparaciones necesarias para el análisis espacial, las zonas geográficas en uso por el SSNC (Zapata, et al, 2002a) serán utilizadas en estudios posteriores, teniendo en cuenta además la evaluación de las crisis sísmicas (Zapata, et al, 2002b). En la **Tabla 4 (Figuras 3 y 4)** se presentan los resultados y con posterioridad se pretende realizar el estudio

específico de las diferentes zonas sismoactivas cubanas (Chuy, et al, 1997), se presentan además en la **Tabla 5** también por años los resultados para toda la región oriental, como premisa para otros estudios de investigaciones aplicadas a proyectos constructivos en el área.

**Tabla 4.** Comportamiento espacio temporal del régimen sísmico de las regiones estudiadas.

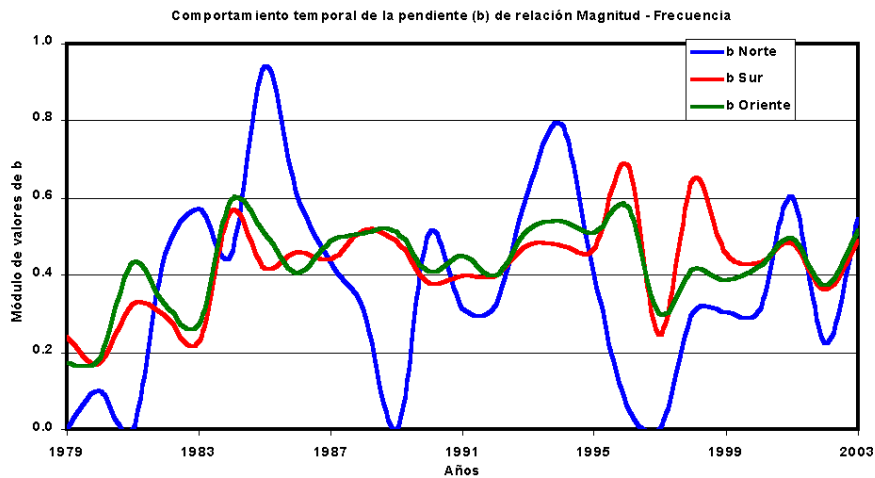
AÑO	SUR 20 grados				NORTE 20 grados			
	CANTIDAD	a	b	R	CANTIDAD	a	b	R
1979	19	1.84	-0.24	0.96				
1980	15	1.53	-0.17	1.00	5	0.70	-0.10	1.00
1981	52	2.43	-0.33	0.91				
1982	74	2.70	-0.29	0.99	25	2.79	-0.45	0.95
1983	78	2.36	-0.23	0.92	25	3.41	-0.57	1.00
1984	269	4.36	-0.57	0.99	53	2.92	-0.45	0.93
1985	241	3.38	-0.42	0.94	68	5.31	-0.94	1.00
1986	123	3.51	-0.46	0.95	85	3.65	0.61	0.98
1987	142	3.33	-0.44	0.96	78	2.97	-0.43	0.97
1988	172	3.84	-0.52	0.91	53	2.49	-0.31	0.92
1989	210	4.06	-0.49	0.97				
1990	174	3.36	-0.38	0.94	56	3.45	-0.51	0.97
1991	241	3.53	-0.40	0.97	70	2.54	-0.31	0.94
1992	802	4.19	-0.40	0.97	53	2.35	-0.32	0.92
1993	255	4.10	-0.48	0.96	67	4.00	-0.61	0.99
1994	189	3.96	-0.48	1.00	69	4.73	-0.79	1.00
1995	213	3.83	-0.47	0.98	79	2.89	-0.41	0.95
1996	113	4.96	-0.69	1.00	26	0.85	-0.06	0.89
1997	102	2.54	-0.25	0.98				
1998	850	4.62	-0.65	0.95	228	2.84	-0.30	0.97
1999	1355	3.85	-0.46	0.96	1526	3.02	-0.30	0.99
2000	1321	3.69	-0.43	0.96	320	2.41	-0.31	0.91
2001	2076	4.25	-0.49	0.97	222	3.69	-0.60	1.00
2002	1081	3.04	-0.36	0.96	241	2.08	-0.22	0.95
2003	937	4.02	-0.49	0.97	469	3.63	-0.54	0.94



**Figura 3.** Comportamiento temporal del intercepto (a) de la relación magnitud frecuencia.

**Tabla 5.** Comportamiento espacio temporal del régimen sísmico para la región de Cubaoriental.

CUBAORIENTAL				
AÑO	CANTIDAD	a	b	R
1979	24	1.58	- 0.17	0.81
1980	18	1.51	- 0.18	0.88
1981	60	3.12	- <b>0.43</b>	0.98
1982	99	2.93	- 0.32	0.99
1983	99	2.69	- 0.27	0.96
1984	321	4.55	- <b>0.59</b>	0.99
1985	311	4.00	- <b>0.51</b>	0.94
1986	208	3.31	- <b>0.40</b>	0.95
1987	218	3.69	- <b>0.49</b>	0.96
1988	230	3.99	- <b>0.51</b>	0.99
1989	255	4.24	- <b>0.51</b>	0.98
1990	230	3.60	- <b>0.41</b>	0.95
1991	311	3.86	- <b>0.45</b>	0.99
1992	855	4.21	- <b>0.40</b>	0.98
1993	322	4.36	- <b>0.51</b>	0.97
1994	258	4.34	- <b>0.54</b>	1.00
1995	292	4.14	- <b>0.51</b>	0.98
1996	139	4.48	- <b>0.58</b>	1.00
1997	120	2.88	- 0.30	0.99
1998	1078	3.78	- <b>0.41</b>	0.96
1999	2881	3.66	- 0.39	0.95
2000	1641	3.73	- <b>0.42</b>	0.98
2001	2298	4.32	- <b>0.49</b>	0.97
2002	1322	3.18	- 0.37	0.96
2003	1412	4.26	- <b>0.52</b>	0.98



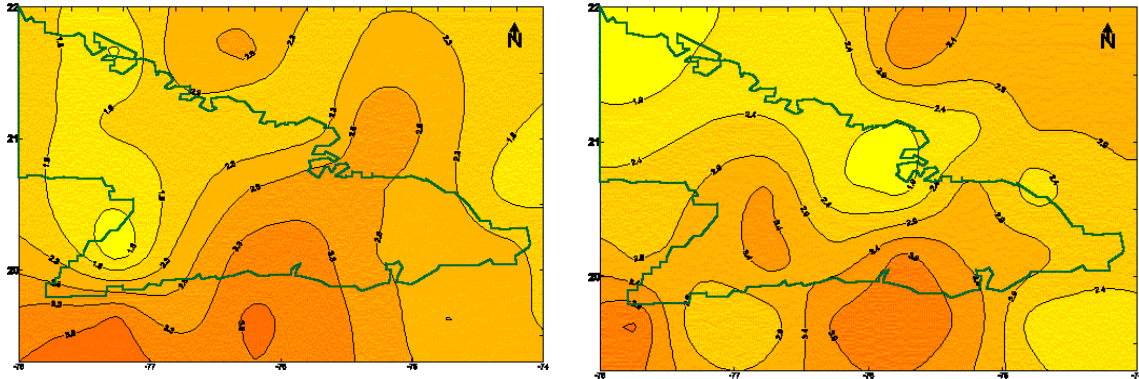
**Figura 4.** Comportamiento temporal de la pendiente (b) de la relación magnitud frecuencia.

En las **Tablas 4** y **5**, marcamos en negritas los valores coincidentes con los estudios realizados anteriormente, nótese que el coeficiente de correlación (**R**) obtenido en las determinaciones es bastante elevado, los resultados obtenidos hasta el momento no permiten utilizar estos resultados de **a** y **b** como elementos predictivos. Así como, en las **Figuras 3** y **4** mostramos los parámetros y zonas en estudio la influencia de su aporte en la parametrización de la sismicidad de la región oriental de Cuba.

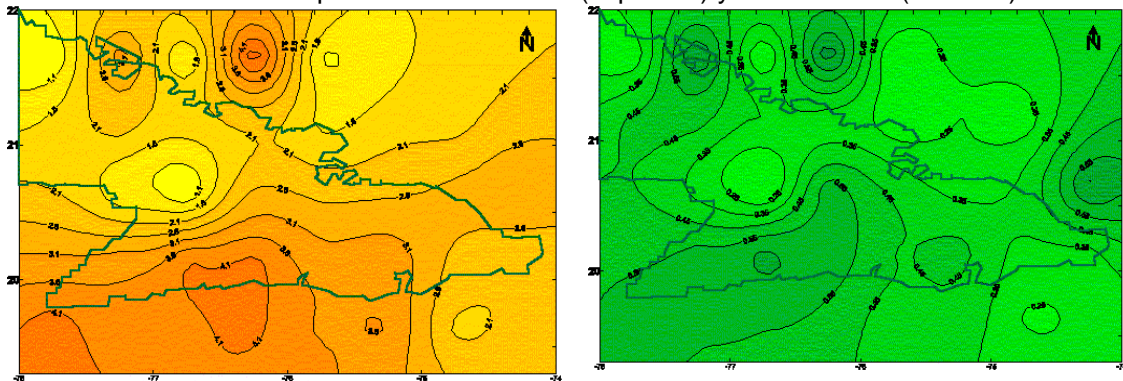
Nótese que el comportamiento de los dos parámetros para la zona oriental en su conjunto está controlado por la zona Sur, producto de la mayor contribución e importancia de esta en la sismicidad de la región.

### ANÁLISIS ESPACIAL DE LA RELACION MAGNITUD – FRECUENCIA EN CUBA ORIENTAL PARA EL PERIODO ESTUDIADO

El análisis espacio - temporal de estos tres períodos de tiempo (**Figuras 5 a 8**) notamos que existe un corrimiento de la actividad sísmica (parámetro **a**) desde la zona de Pílon y Santiago de Cuba (1979 – 1989), hacia Santiago de Cuba y Cabo Cruz (1990 – 1997) y luego hacia Chivirico, Cabo Cruz y Norte de Holguín (1998 – 2003). Las dos primeras coinciden con los terremotos de Pílon, Cabo Cruz y Santiago de Cuba de los últimos tiempos, pero en la tercera no se ve reflejada los terremotos de Moa durante 1998 y 1999.



**Figuras 5 y 6:** Representación espacial del parámetro **a** de la relación magnitud frecuencia durante el período 1979 – 1989 (izquierda) y 1990 – 1997 (derecha).



**Figuras 7 y 8:** Representación espacial de los parámetros de la relación magnitud frecuencia para el período 1998 – 2003, parámetro **a** (izquierda) y **b** (derecha).

De la evaluación de los resultados del análisis espacial de ambos parámetros fue posible trazar las alineaciones principales de los máximos (**Figura 9**), que son en gran medida coincidentes con las estructuras tectónicas de la región y reflejan con claridad las principales estructuras sismoactivas, aunque la estructura principal Bartlett Cayman no se traza por no utilizarse como límite inferior del área de estudio 19.3 de Latitud Norte.

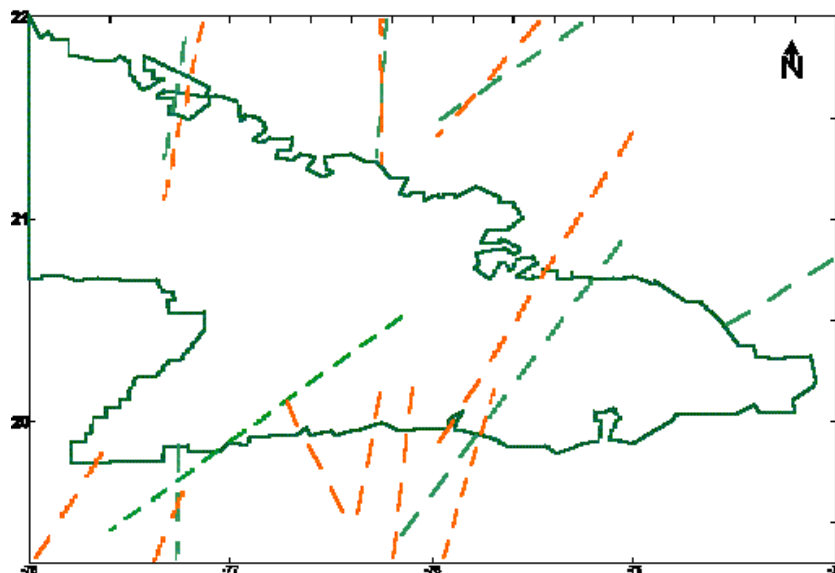
### CONCLUSIONES

Del estudio realizado se arribó a las siguientes conclusiones:

1. Se logró con un número elevado de estaciones cubanas, el estudio de los parámetros del régimen sísmico.
2. Con el análisis de estos parámetros se pudo definir el comportamiento detallado de las zonas sismoactivas de la región oriental.
3. Se reflejan variaciones espaciales que se ajustan a períodos de actividad de diferentes estructuras sismoactivas.



4. Se tienen las herramientas para la ejecución de estos estudios en otros sectores.



**Figura 9.** Alineaciones principales a partir del análisis espacial de los parámetros a y b de la relación magnitud – frecuencia.

## RECOMENDACIONES

Como resultados se recomienda:

1. Realizar el estudio de las diferentes zonas sismoactivas utilizadas en el trabajo de rutina del SSNC.
2. Realizar en estudios posteriores la limpieza de crisis sísmicas y réplicas en los catálogos utilizados.
3. Analizar en conjunto los resultados de los estudios de atenuación y régimen sísmico.

## BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, J. L., Chuy, T. J., García, J., Moreno, B., Alvarez, H., Blanco, M., Expósito, O., González, O., y Fernández, A.I., 1999:** An Earthquake Catalogue of Cuba and Neighboring Areas. IC / IR / 99 / 1 , Internal Report, UNESCO – IAEA – ICTP, Miramare, Trieste. 60 pp.
- Chuy, T. J., 2004:** Terremotos fuertes y peligrosidad sísmica de Cuba. En: Memorias de la 12 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura (III TIARD) ISPJAE. Cuba. ISBN 959-261-169-6. 10 pp.
- Chuy, T. J., 2003:** Caracterización del proceso de liberación de las deformaciones en las principales zonas sismogénicas de Cuba. En: Memorias del V Congreso de Minería y Geología GEOMIN 2003, Ciudad de la Habana. ISBN 959-7117-11-8. 11 pp.
- Chuy, T.J., Orbera, L., Hernández, J. R., Magaz, A., Sánchez, F., Pérez, C., González, E., Fundora, M., Rubio, M., Alvarez, J. L., Cotilla, M., Arango, . D., Iturralde-Vinent, M., Rodríguez, J., Marquetti, M. C. y Ramírez, R., 1997:** Dictamen Conclusivo. Comisión Ad-hoc para la determinación de las Zonas Sismogénicas de la región Oriental de Cuba y zonas aledañas. En: Revista Electrónica “Ciencia en su PC”, Santiago de Cuba. ISSN 1027-2887, Vol. 2, No.2.
- Ogata Y., and Katsura K., 1993:** Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude-frequency distribution inferred from earthquakes catalogues, Geophys. J. Int., 113, 727-738.
- Rikitake T. (1975):** Earthquake precursors, Bull. Seism. Soc. Am., 65, págs. 1133-1162.
- Salcedo, E.J., Rivera, C.I. y Gómez, A.A., 1997:** Análisis de la frecuencia de terremotos fuertes en la región central de Colombia mediante parámetros de régimen sísmico. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. XXI, No. 79, pp 57 – 72.
- Smith W. D., 1981:** The b-value as an earthquake precursor, Nature, **29**, págs. 136-139.



- Suyehiro S., 1966:** Difference between aftershocks and foreshocks in the relationship of magnitude to frequency of occurrence for the great Chilean earthquake of 1960, Bull. Seism. Soc. Am., 56, 185-200.
- Zapata, J.A., Chuy, T.J., Despaigne, G., Matos, R. y Expósito, O.L., 2002a:** Servicio Sismológico Nacional cubano como Sistema de Alerta Temprana: Año 2001. En: Revista "Servicio Sismológico Nacional". Año 2001". Editorial Academia. La Habana. ISBN 959-02-0348-5. pp 7 – 66.
- Zapata, J. A., Chuy, T. J., García, J. y Arango E. D., 2002b:** Agrupamientos de terremotos en el sector Santiago de Cuba – Chivirico: repetibilidad, características y su implicación en la Sismicidad del área. En: Memorias del II Congreso Cubano de Geofísica y IV Conferencia Latinoamericana de Geofísica del 2002. En: Revista "Nuevas Investigaciones Sismológicas en Cuba". Editorial Academia. La Habana. ISBN 959-02-0347-7. pp 7 – 15.
- Zapata, J.A.; Guasch, F.; Serrano, M.; Montenegro, C.; Díez, E.R.; González, O.F.; Del Pino, J. R., 2000:** Servicio Sismológico Nacional de Cuba: Primeros resultados después de la Transformación Tecnológica. RED DE ESTACIONES E INVESTIGACIONES SISMOLOGICAS EN CUBA. Editor: José A. Zapata B. Editorial Academia. ISBN 959-02-0244-6. p 27 - 33.