

desarrolla sobre rocas del grupo Cogollo, de edad Cretácico inferior, compuesto por las formaciones Apón y Maraca, que son calizas, y Lisare, constituida por areniscas. Esta última actúa como impermeable intercalado entre las calcáreas. Estructuralmente la sierra de Perijá se encuentra en un bloque de corteza continental denominado Santa Martha-Perijá, afectado por una tectónica compresiva que ha provocado cabalgamientos relacionados con la convergencia de las placas Caribe y Sudamérica (García Maiztegui, 1991; fide Gutiérrez, 1996).

La formación Roraima, del Precámbrico, se extiende desde Venezuela, como ya se señalara, hasta Guyana. En este último país se hallan también formas cársicas similares a las descritas para la Guayana Venezolana.

Uno de los mejores ejemplos (Szczerban y Urbani, 1974; fide Gutiérrez, 1996) es la presencia de una sima semejante a las de Sarisariñami, con unos 100 m de diámetro por 150 m de profundidad en los montes Karanag, cerca del río Mazarun.

## BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, M.; R. GUTIÉRREZ; F. RIVERO and J. LAMADRID: «The relief inversion as a geomorphological factor in the American Mediterranean», *XXIII International Geographic Congress*, Section I, pp. 125-126, Moscow, 1976.

ACEVEDO GONZÁLEZ, M. y R. GUTIÉRREZ DOMECH: «Nuevos reportes sobre manifestaciones pseudocársicas en rocas no carbonatadas», revista *Voluntad Hidráulica*, 1978.

DUCLOZ, C.: *Étude géomorphologique de la région Habana-Matanzas*. Cuba, pp. 351-402, Archives de sciences, Soc. de physique et d'histoire nat. de Genève, 1963.

FURRAZOLA-BERMÚDEZ, G.; C. JUDOLEY et al.: *Geología de Cuba*, 239 pp., La Habana, 1964.

GUTIÉRREZ DOMECH, R. y F. RIVERO REYES: «Observaciones sobre el curso en la zona de Cayajabos, Madruga, La Habana», revista *Voluntad Hidráulica*, 12(35): 44-52, 1975.

—: «Estudio geológico geomorfológico de la zona de Cayajabos, Madruga, La Habana», Serie Geográfica, 12: 1-34, Academia de Ciencias, 1975.

GUTIÉRREZ DOMECH, R. y M. ITURRALDE-VINENT: «Condiciones geológicas de formación del carso en Cuba», *Congreso Internacional L Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba*, La Habana, 1990.

JENNINGS, J. N.: *Karst*, MIT Press, London, 1971.

LLOPIS LLADÓ, NOEL: *Fundamentos de hidrogeología cársica*, Editorial Blume, Madrid, 1970.

NÚÑEZ JIMÉNEZ, A.; V. PANOS y O. STECL: *Carso en Cuba*, Serie Espeleológica y Carsológica No. 2, 47 pp., Academia de Ciencias, La Habana, 1968.

TRUDGILL, STEPHEN: *Limestone Geomorphology*, Longman Group limited New York, 1985.

## LABORATORIO DE PALEOMAGNETISMO Y MAGNETISMO DE LAS ROCAS DEL INSTITUTO DE GEOFÍSICA Y ASTRONOMÍA DE CUBA

El Laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de las Rocas de Cuba ha servido de soporte a la solución de problemas de geodinámica, estratigrafía, geocronología y paleografía en Cuba y otros países de las Grandes Antillas.

El Laboratorio está dividido en tres módulos en los cuales se realizan las siguientes determinaciones:

1. Preparaciones de las muestras.
2. Obtención de los valores de la intensidad y dirección de la magnetización remanente natural de las rocas.

3. Determinación de la magnetización inducida de rocas mediana y altamente magnéticas.
  4. Determinación de la magnetización remanente de rocas débilmente magnéticas.
  5. Determinación de la susceptibilidad magnética y su anisotropía.
  6. Procesamiento de la información.
- Para la ejecución de los trabajos se cuenta con una tecnología de punta que incluye equipos suministrados por firmas líderes en la construcción de este tipo de instrumentación a nivel mundial, lo que le aporta al Laboratorio un voto de alta sensibilidad y precisión en sus mediciones.

Para mayor información o solicitud de servicios puede contactar con nosotros en:  
**Laboratorio de Paleomagnetismo y Magnetismo de las Rocas**  
**Instituto de Geofísica y Astronomía**  
**Calle 212 No. 2906, e/ 29 y 31, La Coronela, Lisa, Ciudad de La Habana, Cuba.**  
**Teléfono: 21-4331, 21-3105 o 21-0644 ext. 39**  
**Telefax: (537) 33 9497. Email: iga@cidet. icmf. Inf.cu**

# Peligrosidad sísmica y desarrollo socioeconómico de la región de las Antillas Mayores

Tomás J. Chuy Rodríguez\* \*Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

## DESARROLLO

Dentro de la región del Caribe, la sismicidad de Cuba presenta una particularidad interesante, la cual hace al mismo tiempo que su estudio sea para algunas zonas de carácter complejo. Esta consiste en el hecho de que las manifestaciones de los sismos en el archipiélago cubano, se rigen por dos formas de génesis: de entre placas y de interior de placa.

Esto significa que en el área de Cuba no existe el mismo nivel de potencialidad sísmica en todas sus partes: se destaca en la primera, la región suroriental por la frecuencia con que ocurren en ella terremotos y los valores altos de magnitud e intensidad alcanzados históricamente. Esta región, considerada la de mayor peligrosidad sísmica del país, se corresponde con la estructura de Bartlett-Caimán y en ella se han reportado hasta la fecha 22 terremotos con intensidad igual o mayor que VII en la escala MSK (Chuy y otros, 1992), de ellos 20 en el sector Chivirico-Baconao, en zonas cercanas a la ciudad de Santiago de Cuba.

Es de interés significar que de estos sismos fuertes, dos de ellos produjeron intensidad IX (MSK) en áreas de la provincia de este mismo nombre en 1766 (magnitud  $M = 7,6$ ) y 1852 ( $M = 7,3$ ); de ambos se reportaron considerables daños en toda la región oriental de Cuba. Sin embargo, la sismicidad de interior de placa que también se manifiesta en las zonas sismogénicas de baja actividad, distribuidas en el territorio cubano, es también de considerar (ver Figura 1 y Tabla 1). A pesar de presentar una menor frecuencia la ocurrencia de terremotos en ellas, su ubicación cercana a las costas o bien en el interior del territorio y la poca profundidad de los hipocentros, hacen que en ocasiones los efectos de sismos de menor magnitud, reporten afectaciones significativas en las diferentes estructuras constructivas.

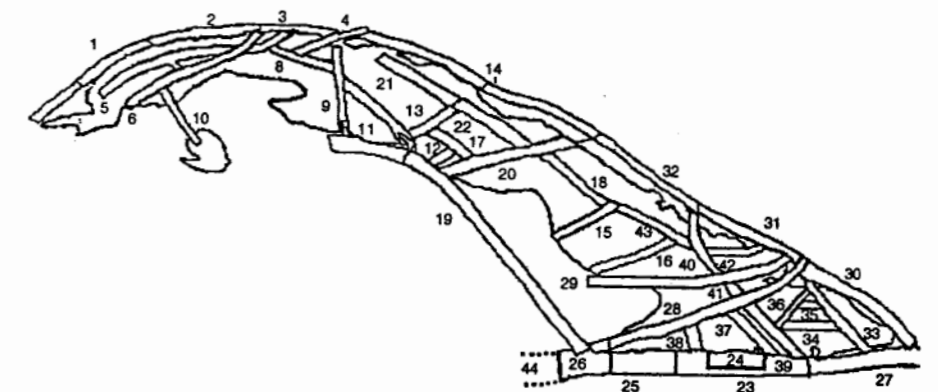


FIGURA 1. Esquema de Zonas de Origen de Terremotos (ZOT) de Cuba (compilado de Orbera y otros, 1990; Chuy y otros, 1992; y González y otros, 1994).

**TABLA 1. Parámetros de atenuación de las zonas sismogénicas de Cuba en términos de intensidad sísmica,  $M_{\max}$  y  $H(cs)$  (por Orbera y otros, 1990; Chuy y otros, 1992; y González y otros, 1994)**

No.	Zona sismogénica (ZS)	A/B	DV	Az(p)	H(cs)	$M_{\max}$
1	Norte cubana occidental 1	(1,5)	(A)	40	10	5,3
2	Norte cubana occidental 2	(1,5)	(A)	30 (10)	10	5,5
3	Norte cubana occidental 3	(1,5)	(A)	25 (3)	10	5,2
4	Hicacos	(1,7)	(A)	30	10	5,5
5	Consolación del Norte	(1,5)	(A)	50 (15)	20	5,5
6	Pinar 1	1,5	A	55 (20)	15	6,2
7	Pinar 2	(1,5)	(A)	35	10	5,0
8	Bejucal-Madruga-Coliseo	1,7	A	5 (25)	10	5,2
9	Cochinos	1,7	A	70	20	5,5
10	Río Hondo	1,3	A	45	10	5,0
11	Cienfuegos	1,7	A	35	10	5,5
12	Trinidad-Fomento	1,4	A	40	10	5,0
13	Cienfuegos-Santa Clara	(1,4)	(A)	45	10	5,0
14	Norte cubana occidental 4	1,6	A	30 (10)	20	4,7
15	Camagüey	1,5	A	40	10	5,0
16	Santa Cruz	(1,5)	(A)	25	15	5,1
17	Norte Escambray	1,5	M	45	15	5,5
18	Cubitas 3	1,6	A	45	10	5,5
19	Sur cubana	1,5	M	35 (10)	15	6,5
20	La Trocha	2,3	M	20	15	6,0
21	Sutura central 1	2,1	A	25	10	5,8
22	Sutura central 2	1,6	A	35	10	5,8
23	Oriente 1	1,8	M	0	35	8,0
24	Oriente 1 (subzona)	1,5	M	0	35	8,0
25	Oriente 2	1,3	A	5	30	7,6
26	Oriente 2 (subzona)	2,0	M	5	30	7,6
27	Oriente 3	1,8	M	5	40	7,6
28	Cauto-Nipe	1,7	A	20	20	7,0
29	Cauto norte	1,4	A	10	20	6,5
30	Sabana 1	2,4	M	25	35	7,0
31	Sabana 2	1,5	M	20	35	6,5
32	Sabana 3	(1,2)	A	40	25	6,0
33	Purial	2,1	M	40	15	6,5
34	Guaso	1,5	A	10	10	5,0
35	Palenque	(1,5)	(A)	5	10	5,0
36	Santiago-Moa	(1,5)	(A)	50	10	5,0
37	Santiago-Bayamo	1,6	A	25	15	5,5
38	Bayamo	1,3	A	65	25	6,5
39	Baconao 1	1,6	A	25	25	7,0
40	Baconao 2	1,2	A	50	15	6,0
41	Baconao 3	(1,2)	(A)	50	15	6,0
42	Cubitas 1	1,8	A	0	20	5,5
43	Cubitas 2	(1,8)	(A)	5	20	5,5
44	Caimán	2,0	M	5	30	7,6

A/B : Razón entre los ejes mayor y menor de la elipse modelada.  
 DV : Dirección de validez para el cálculo de  $r$ .  
 Az(p): Azimut de la ZS medido desde EW según manecillas del reloj.  
 H(cs) y  $M_{\max}$ : Profundidad (capa sismoactiva) y magnitud máxima (ZS).

Este hecho viene dado incluso porque Chuy (1989) reporta terremotos fuertes ocurridos en el interior del territorio nacional. De estos los más significativos son el de 1880 (magnitud  $M = 6,0$ ), que produjo VIII grados (MSK) en la zona de San Cristóbal-Candelaria; el de 1982 ( $M = 5,0$ ), que produjo VI grados (MSK) en la zona de Torriente-Jagüey Grande; el de 1939 ( $M = 5,6$ ), que produjo VII grados (MSK) en la zona Remedios-Caibarién; el de 1943 ( $M = 4,6$ ), produjo VI grados en la zona de Trinidad; el de 1953 ( $M = 3,9$ ) produjo VI grados en Morón; el de 1974 ( $M = 4,0$ ) produjo VI grados en Esmeralda; el de 1914 ( $M = 6,15$ ) produjo VII grados en Gibara; el de 1551 ( $M = 5,8$ ) produjo VIII grados en la zona de Bayamo; el de 1976 ( $M = 5,7$ ) produjo VIII en la zona de Pilón. Otros sismos a considerar estudiados por el CENAIIS ocurrieron en 1992; uno con  $M = 4,5$  que produjo VI grados en Moa y otro con  $M = 6,8$  que produjo VII en la zona de Cabo Cruz. Todo esto incide, prácticamente, en que no pueda considerarse exenta de riesgo ninguna zona del archipiélago cubano y a que el ajuste del nivel de peligrosidad sísmica se condicione a las características sismotectónicas de cada una y, en particular, de la potencialidad sísmica de las ZOT presentes en ella.

De esta forma, obtener un mapa de peligrosidad sísmica de Cuba constituyó el objetivo de muchas investigaciones sismológicas complejas realizadas en este país y de diversas maneras, aunque con limitaciones, este se fue conformando y utilizando en la proyección de obras de importancia socioeconómica (Orbera y otros, 1990; Chuy y otros, 1992; González y otros, 1994; y Chuy y otros, 1994). La precisión y mayor información de terremotos ocurridos en el país y el incremento del nivel de conocimiento geólogo-geofísico del archipiélago cubano, permitieron ajustar y puntualizar los aspectos fundamentales metodológicos utilizados y obtener mapas de diferentes niveles de riesgo sísmico, un ejemplo de los cuales se presenta en la Figura 2.



FIGURA 2. Cuba. Región oriental. Mapa de zonas de diferente intensidad sísmica a esperar considerando tiempos de recurrencia o de repetibilidad de 100 años (Chuy y otros, 1992).

El tipo de mapas obtenido bajo estas nuevas condiciones presenta la ventaja de que es factible su conversión a diferentes niveles de riesgo, en correspondencia con las exigencias de los proyectos de desarrollo que se pretenda realizar. Incluso, bajo la concepción de las metodologías utilizadas, es factible estimar los valores

de peligrosidad sísmica en los términos dinámicos que se solicitan actualmente; esto es, en función de la aceleración, velocidad y desplazamientos horizontales y verticales. Otro elemento a considerar por los proyectistas y planificadores es el que se pueden presentar mapas de diferentes niveles de probabilidad de ocurrencia del peligro sísmico y para el tiempo de vida útil que se desee considerar; todo lo cual le proporciona las herramientas necesarias a los decisores para establecer una actividad de Primera Categoría, incluyendo, incluso, la posibilidad de establecer criterios sobre el margen que debe cubrir el Seguro contra Desastres de sus Instalaciones.

Una de estas variantes (Chuy y Álvarez, 1995), la correspondiente a la probabilidad de ocurrencia del 15 % para un tiempo de vida útil de 50 años considerando perfiles de suelos del tipo S1, en términos de aceleración horizontal efectiva, fue utilizada como base para la preparación del mapa de zonas con fines de ingeniería (Figura 3) que Ferrer y otros (1996) obtuvieron para su inclusión en la Nueva Norma Sísmica Cubana.

Fue considerado, además, desde el punto de vista del potencial riesgo a que Cuba está sometida, la ocurrencia de sismos fuertes en zonas activas al norte y sur de la vecina isla de La Española (Haití y República Dominicana). En esta región se reportan históricamente varios terremotos de consideración (Chuy y Álvarez, 1989), incluyendo uno de magnitud  $M = 8,2$  en 1842, cuya área pleistocénica cubrió toda nuestra región oriental, y se reportó en ella intensidades de VII-VIII grados MSK; aunque no se cuenta con datos completos en muchas partes por el nivel de despoblamiento de la misma, se sintieron con relativa fuerza los sismos de 1770 ( $M = 7,9$ ), 1887 ( $M = 7,9$ ) y 1946 ( $M = 8,1$ ). El valor reportado de intensidad, por supuesto, dependió de la ubicación del epicentro, aunque debemos señalar que, en función de este factor, podrían producirse mayores o menores afectaciones en la región oriental. No menos significativa, y por las mismas razones, es la ocurrencia de sismos fuertes en las acuatorias entre la isla de Jamaica y la región oriental de Cuba.

La influencia de estructuras tectónicas regionales como las que se presentan en las zonas señaladas anteriormente es de obligatoria observación, porque en muchas ocasiones el mayor riesgo sísmico a que una zona está sometida no proviene de zonas sismogénicas localizadas en ella, sino de zonas vecinas en las que sus condiciones sismotectónicas le imponen una marcada peligrosidad (Chuy, 1984). En especial, se destacan estructuras que por su vinculación con la frontera entre las placas norteamericana y del Caribe, presentan valores significativos de esta condición, lo que precisamente ha determinado la ocurrencia en ellas de terremotos fuertes. Esta fue la principal razón por la que se hizo necesario, en su momento, la ampliación de objetivos hasta nuestros vecinos más cercanos para terminar la evaluación del peligro sísmico en Cuba.

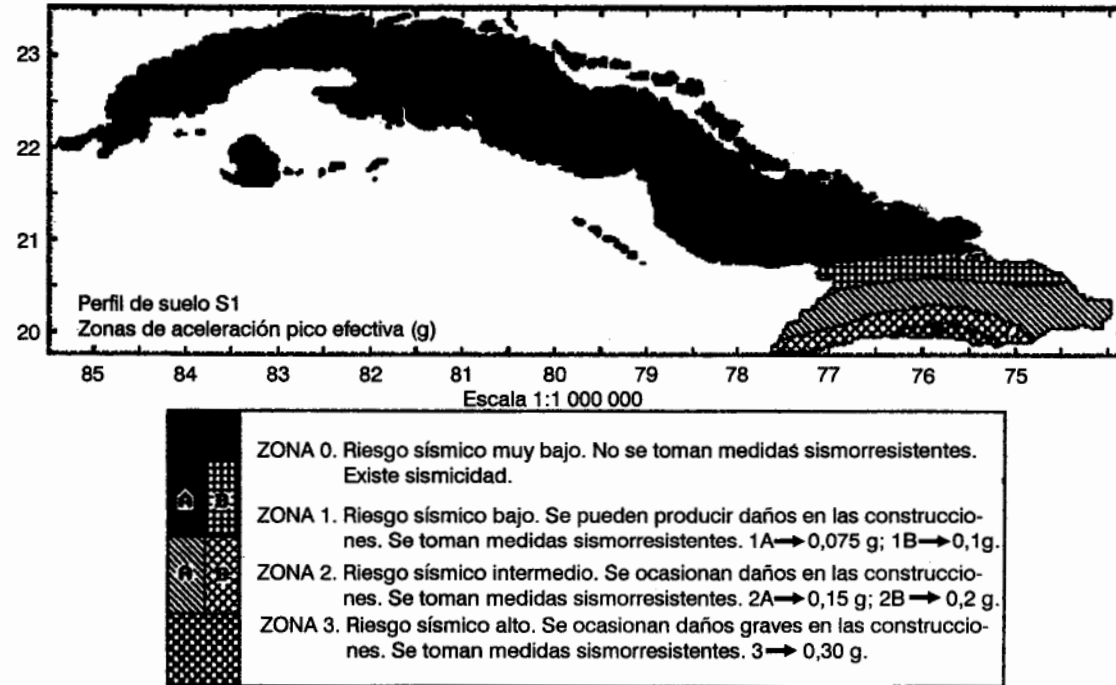


FIGURA 3. Mapa de zonificación sísmica de Cuba con fines de ingeniería (Ferrer y otros, 1996).

Para el caso de Jamaica, Haití y República Dominicana fueron estudiados y reevaluados en muchos casos, la mayoría de los sismos fuertes reportados (Chuy, 1984; Chuy y Álvarez, 1989) tanto para corregir intensidades obtenidas a través de diferentes escalas de intensidad, así como para puntualizar y ajustar datos macrosísmicos, entre otros aspectos. Al igual que para Cuba, se consideraron metodologías de corte probabilístico, esto es, la correlación entre los períodos de recurrencia o de retorno ( $T$ ), tiempos de espera o de vida útil ( $t$ ) y probabilidad de excedencia de valores de los mismos ( $p$ ); se planteó, igualmente, la necesidad de evaluar tres aspectos fundamentales: el modelo estadístico de ocurrencia de terremotos y sus efectos, la determinación de las características de las Zonas de Origen de Terremotos (ZOT) con sus correspondientes parámetros del régimen sísmico y la ley de atenuación del parámetro a utilizar para cuantificar los efectos de los terremotos con sus características regionales.

Este último parámetro mereció un tratamiento particular, ya que la mayoría de los modelos de atenuación la considera de forma circular y en este caso el tratamiento recibido fue el propuesto por Álvarez y Chuy (1985) mediante un modelo de isosistas elípticas para las Antillas Mayores. Sobre este punto de partida se realizaron los correspondientes análisis vinculados con cada ZOT en particular (Figuras 1 y 4), utilizando el procesamiento automatizado de las bases de datos correspondientes y se obtuvieron los parámetros de cálculo necesarios para la estimación de la peligrosidad sísmica sobre la base del concepto de la sacudibilidad, pero con la concepción de que el período de recurrencia de las sacudidas  $T$  es la esperanza matemática de la distribución de los in-

tervalos temporales entre eventos sucesivos de intensidad igual o mayor que un valor  $I$  (Riznichenko, 1979). Esta consideración es la que permitió realizar los cálculos no sólo desde el punto de vista determinístico, sino también probabilístico.

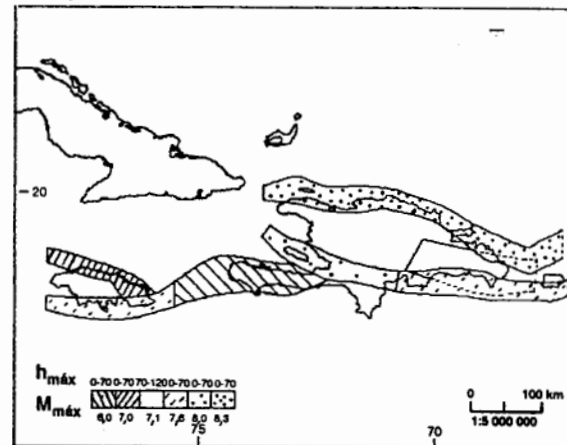


FIGURA 4. Zonas de Origen de Terremotos de La Española y Jamaica (Álvarez y otros, 1991).

En relación con los valores adicionales obtenidos de los parámetros dinámicos (aceleración, velocidad y desplazamiento), estos se analizaron en un rango lo suficientemente extenso como para incluir en él todas las variantes posibles, en correspondencia con las potenciales necesidades de proyección y planificación perspectiva del territorio con fines de turismo. Este análisis contempló la evaluación combinada de los períodos de recurrencia, con la potencialidad sísmica presente en cada zona considerada, desde el punto de vista de la probabilidad de que determinados valores ocurran y se

afecte toda la infraestructura turística de la región considerada, con las consiguientes pérdidas económicas.

En la Figura 5 se presentan dos variantes de los mapas obtenidos mediante el programa SACUDIDA (Álvarez, 1996) para las islas de La Española y Jamaica, siendo el primero una versión determinística y el segundo, una de las variantes posibles de estimados probabilísticos.

No obstante, en el caso de que trabajos futuros permitan establecer modificaciones en la distribución, ubicación y(o) potencialidad de las ZOT conocidas de las Antillas Mayores, la base de datos creada en todos estos trabajos de investigación, facilita realizar los ajustes necesarios.

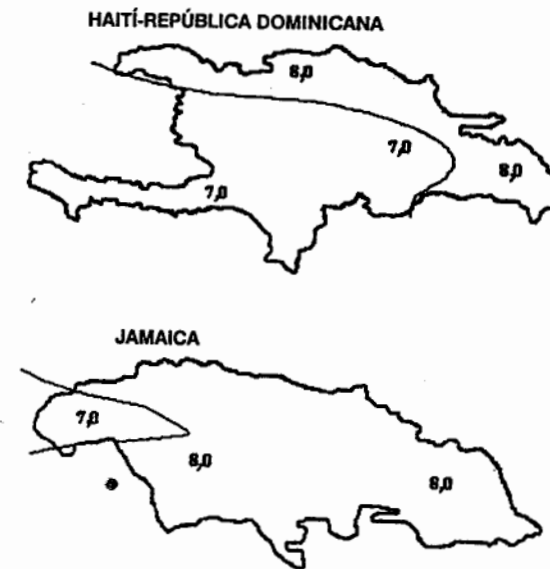


FIGURA 5. Mapa de zonas sísmicas de Haití-República Dominicana y de Jamaica en términos de intensidad (Álvarez y otros, 1995). República Dominicana: Tiempo de recurrencia,  $T = 100$  años. Jamaica: Tiempo de vida útil,  $t = 50$  años y probabilidad de ocurrencia del 10 %.

## CONCLUSIONES

Con todo lo planteado, se hace evidente la imperiosa necesidad de que la infraestructura y planificadores del desarrollo utilicen en correspondencia con sus necesidades de afirmación y planeamiento, la potencialidad de respuesta que en el tema de «peligro sísmico» pueden contar en la actualidad, como única manera de mantener un desarrollo sostenible y sustentable, tanto en Cuba, como en el resto de las Antillas Mayores, donde este factor puede llegar a ser crítico.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, J.L.: *SACUDIDA, Versión 2.0: un programa para la estimación de la peligrosidad sísmica*, Editorial Academia, 1996.
- ÁLVAREZ, J.L. and T.J. CHUY: «Isosismal Model for Greater Antilles». *Proceedings of the 3rd International Symposium on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk*, Liblice Castle, Czechoslovakia, 1985.
- ÁLVAREZ, J.L.; M. COTILLA y T.J. CHUY: «Determinación de las zonas de origen de terremotos de La Española y Jamaica», Reporte de investigación, Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, 1991.
- ÁLVAREZ, J.L.; T.J. CHUY y M. COTILLA: «Criterios sobre la peligrosidad sísmica de las Antillas Mayores», Reporte de investigación, Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, 1995.
- CHUY, T.J.: «Datos macrosísmicos de las Antillas Mayores», *Memorias del 1er Seminario-Taller sobre Desastres Naturales*, pp. 50-54, UNDR0-ACC-CECE-MINSAP, La Habana, 1984.
- : «Epicentros de terremotos por datos macrosísmicos. 1551-1983», *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Mapa 33, Sección «Características Geofísicas», 1989.
- CHUY, T.J. y J.L. ÁLVAREZ: «Catálogo de terremotos fuertes ( $I > VII$ , MSK) de las Antillas Mayores», Reporte de investigación, IV Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía, 1984.
- : «Sismicidad histórica de La Española», *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, No. 16, 14 pp., 1989.
- : «Peligrosidad sísmica de Cuba con fines de la Norma Sismorresistente Cubana», Reporte de investigación, Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas y del X Forum Nacional de Ciencia y Técnica, 1995.
- CHUY, T.J.; J.L. ÁLVAREZ; J.A. ZAPATA; B.E. GONZÁLEZ y otros: «Investigaciones sismológicas complejas para el complejo hidroenergético Toa-Duab», Reporte de investigación, Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas y del Ministerio de Industria Básica, 1992.
- CHUY, T.J.; B.E. GONZÁLEZ y L. ORBERA: «Sismicidad y riesgo sísmico en Cuba occidental», revista *Minería y Geología*, vol. XI, No. 3, 1994.
- GONZÁLEZ, B.E.; T.J. CHUY; J.L. ÁLVAREZ; M.F. RUBIO y otros: «Estudios sismológicos complejos de Cuba centro-oriental para el emplazamiento de objetivos nucleares», Reporte de investigación, Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, de la Secretaría para Asuntos Nucleares y del Ministerio de Industria Básica, 1994.
- ORBERA, L.; B.E. GONZÁLEZ; T.J. CHUY y otros: «Investigación sísmica en la región de emplazamiento del Centro de Investigaciones Nucleares», Reporte de investigación, Fondos de la Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares y del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, 1990.
- RIZNICHENKO, Yu. V. ed.: *Sacudibilidad sísmica del territorio de la URSS*, Nauka, Moscú, 1979 (en ruso).