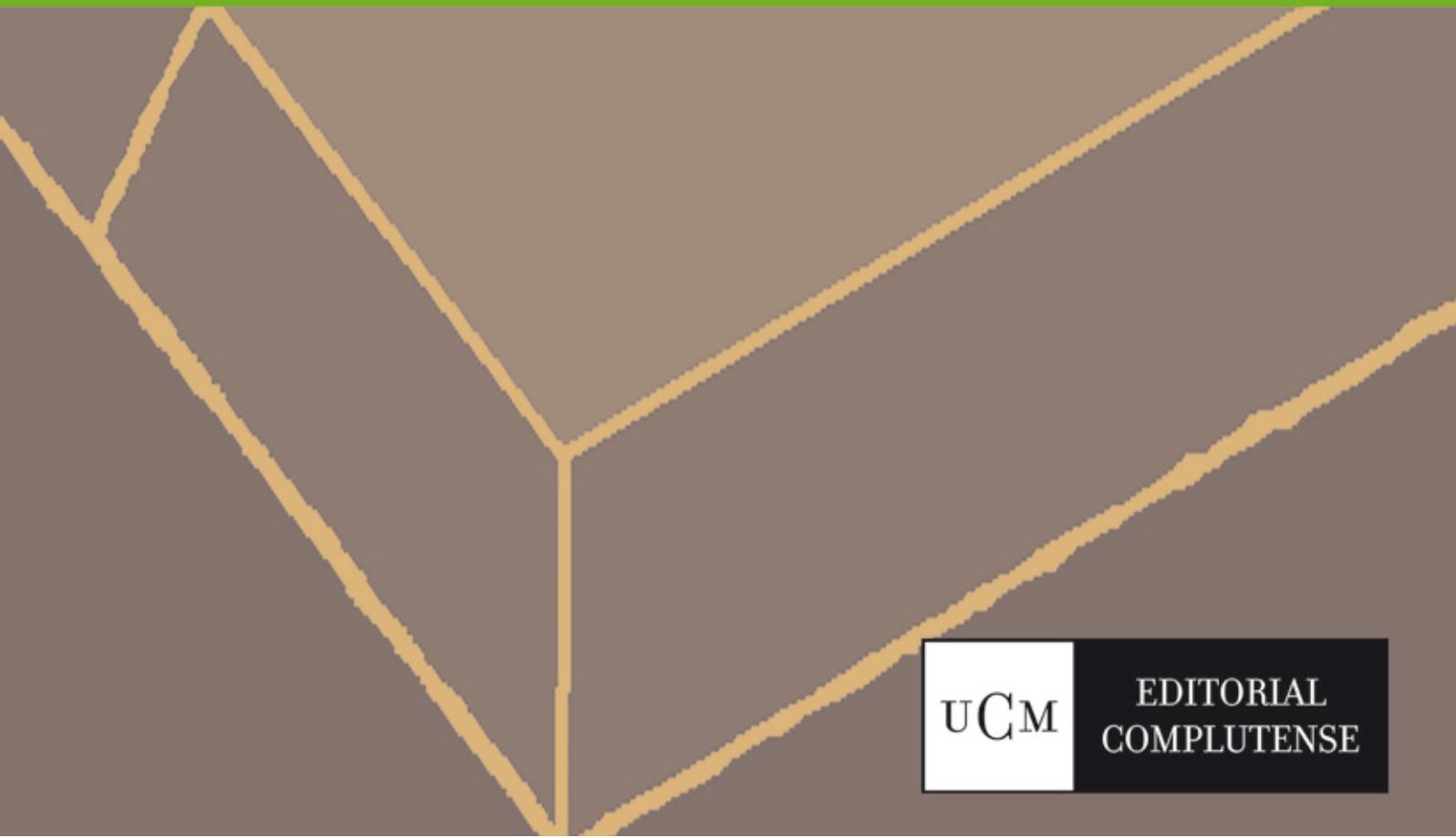




# Un recorrido por la simología de Cuba

Mario Octavio Cotilla



UCM

EDITORIAL  
COMPLUTENSE

Queda rigurosamente prohibida sin la autorización escrita de los titulares del Copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo público.

© 2006 by Mario Octavio Cotilla  
© 2006 by Editorial Complutense, S. A.  
Donoso Cortés, 63 – 4. planta (28015) Madrid  
Tels.: 91 394 64 60/1 Fax: 91 394 64 58  
e-mail: [ecsa@rect.ucm.es](mailto:ecsa@rect.ucm.es)  
[www.editorialcomplutense.com](http://www.editorialcomplutense.com)

Primera edición: diciembre 2006

ISBN: 978-84-7491-827-4

*... "las mulas ó caballos de los carruajes se abren de piernas; las gentes al grito de  
¡Misericordia!! Se lanzan á los patios y á las calles" ...*

Don Esteban Pichardo

# 1. La Tierra y la tectónica de placas

## Introducción

Las observaciones directas de la composición de la Tierra se reducen a las realizadas en la superficie y en las perforaciones. Estas últimas, naturales y artificiales, no superan la profundidad de 8 km. Sin embargo, algunos procesos geológicos pueden llevar a la superficie rocas formadas a profundidades de 20 – 25 km, e incluso con las erupciones volcánicas salen materiales de más de 200 km de profundidad, lo cual evidentemente ayuda a los especialistas en sus investigaciones científicas.

De otra parte, los estudios geofísicos, y en particular la Sismología, sí dan acceso a la información del interior de la Tierra. Así se puede determinar, entre otros parámetros, la densidad, la rigidez y la compresibilidad de las distintas capas que forman las grandes unidades estructurales en que está dividida la Tierra.

### a) La Tierra, su formación y estructura

El origen, el desarrollo y la evolución de la Tierra están relacionados directa e indisolublemente al sistema planetario. En la tabla 1.1 se dan algunas características o datos físicos de la Tierra.

Tabla 1.1.- Datos físicos de la Tierra.

Nº	Característica
1	Masa = $5,973 \cdot 10^{24}$ kg
2	Densidad media = $5,515$ g / cm <sup>3</sup>
3	Área = $5,1 \cdot 10^{14}$ m <sup>2</sup>
4	Radio ecuatorial = 6.378.136 m
5	Radio polar = 6.356.750 m
6	Radio medio = $6.370 \cdot 10^3$ m
7	Velocidad angular = $7,2921 \cdot 10^{-5}$ s <sup>-1</sup>
8	Aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra = $9,81$ m/s <sup>2</sup>

Al margen de las teorías de la formación de la Tierra interesa saber que a partir de las ondas sísmicas ha sido posible conocer las características principales de su interior (Fig. 1.1). En la figura se aprecia una estructura sucesiva de tres esferas diferentes establecidas por sus características (como densidad, temperatura y velocidad de las ondas P). Esas esferas o geo-esferas son: corteza, manto y núcleo. Sin embargo, las dos esferas más internas, el manto y el núcleo se subdividen cada una en dos partes (Fig. 1.2). El manto conforma más del 80% del volumen de la Tierra. La tabla 1.2 contiene algunos datos de estas estructuras.

El interior de la Tierra se caracteriza por el aumento gradual de la temperatura, la presión y la densidad con la profundidad. Se ha estimado que a 100 km de profundidad la temperatura oscila entre 1.473 K y 1.673 K y en el límite núcleo – manto es de 4.773 K y en núcleo llega a 6.973 K. Se puede decir que el interior de la Tierra permanece aún caliente, pero que la energía fluye lenta y de forma continua hacia la superficie y al espacio exterior.

Tabla 1.2.- Datos de las geoesferas.

Nº	Geoesfera	Profundidad (km)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Presión (10 <sup>3</sup> Mpa)	Temperatura (K)
1	Corteza	10-25	2,9	0,6	280
2	Manto Superior	40-600	3,3-3,9	1,0-24,0	650-2.070
	Manto Inferior o Mesosfera	600-2.880	4,3-5,5	24,0-136,0	2.360-2.930
3	Núcleo Externo	2.880-5.150	9,9-12,1	136,0-329,0	3.150-4.150
	Núcleo Interno	5.150-6.370	12,8-13,0	329,0-364,0	4.150-4.290

La superficie de la Tierra posee dos niveles altitudinales diferentes y fundamentales, en los continentes el valor es de 800 a 840 m y en las cuencas oceánicas de -3.600 a -3.700 m, con relación al nivel medio del mar (Fig. 1.3). Esos niveles indican, indirectamente, la composición interna. En los continentes hay rocas graníticas, ricas en minerales de cuarzo y feldespato. Mientras que en la parte oceánica las rocas son basálticas, ricas en minerales densos como piroxeno y olivino. Los límites entre esas dos clases de corteza es una superficie relativamente pequeña y con cierta inclinación desde la zona continental hacia la oceánica. En la base de ambas cortezas está la superficie de Mohorovicic (o de Moho). Es una superficie de discontinuidad entre la corteza y el manto, que está formada por materiales densos como el olivino y el piroxeno. La composición del núcleo es fundamentalmente de hierro, con cantidades menores de níquel y otros elementos. El núcleo externo y el núcleo interno son muy similares en cuanto a la composición, pero su división está determinada por la diferencia de sus estados. El núcleo interno, a pesar de su temperatura mucho más elevada que la del núcleo externo, se comporta como un sólido. Mientras que el núcleo externo es "líquido" y en consecuencia puede fluir. Esta circulación de materia unida al movimiento de rotación de la Tierra genera al campo magnético de la Tierra.

## b) Tectónica de placas

De forma concreta y sintética se puede decir que la inmensa mayoría de los sismos se justifica en la teoría de la Tectónica de Placas. Ésta es una teoría global que explica el comportamiento dinámico de la litosfera terrestre. Ella supone que la parte superior de la Tierra, o litosfera, está dividida en un conjunto irregular, pero estable, de placas (Fig. 1.4). Desde el punto de vista tectónico, la corteza y la parte superior del manto configuran una capa relativamente rígida de unos 100 km de espesor. Existe bajo ella una capa de baja velocidad, o capa débil, denominada astenosfera. El material que la constituye está en estado de fusión parcial y se comporta como una superficie viscosa que permite el deslizamiento de la litosfera sobre ella. Esto hace comprender que los procesos tectónicos resultan en estructuras muy profundas.

Las placas se mueven continuamente unas con respecto a las otras, y con respecto al eje de rotación de la Tierra. Las velocidades están en el rango de 1 a 6 cm/año. La teoría de la tectónica de placas tiene tres aspectos o supuestos fundamentales: 1) la existencia de la expansión del suelo oceánico a partir de las Cordilleras Medio – Oceánicas, 2) la nueva corteza forma parte de una placa que puede o no incorporar material continental, 3) el área (o superficie) de la Tierra es constante.

La distribución del vulcanismo y de la sismicidad determinada al nivel global de la Tierra define los límites de las placas (Fig. 1.5). Evidentemente, en los bordes de las placas, debido a los desplazamientos laterales relativos, hay un contacto físico y es en

ellos donde se localizan importantes esfuerzos deformantes o esfuerzos tectónicos. Esto provoca que en esos bordes haya cambios geológicos y por tanto resulten ser inestables. Los bordes o márgenes pueden ser de tres tipos: 1) divergentes, 2) convergentes, 3) deslizamiento horizontal.

Un límite divergente (o constructivo) es aquel donde aflora a la superficie material proveniente de la astenosfera. Su localización corresponde con las denominadas Dorsales (o Cordilleras) Medio Oceánicas (Fig. 1.1). En esas zonas se determina el alejamiento o separación de las placas. El límite convergente (o destructivo) se define en las zonas de convergencia de las placas donde hay un transporte de masa desde la litosfera hacia el manto sublitosférico (Figs 1.1. y 1.5). Aquí se definen el frente de subducción y el perfil de Benioff. Este proceso provoca cadenas montañosas, arcos de islas y zonas de subducción. Mientras que el límite transformante (o conservativo) es aquel donde hay un movimiento relativo paralelo al límite de las placas. En él se definen las fallas de transformación como la falla Oriente (Fig. 1.7).

En algunos límites de placas difusos se han determinado pequeños bloques que tienen movimiento relativo respecto a las grandes placas. A esos bloques se les denomina microplacas, ejemplo, Gonave (Fig. 1.7).

*... "Hoy se me ofrece oportunidad de insistir y lo hago de buen grado, moviéndome a ello el interés científico sobre esta clase de asuntos y alejando todo deseo de crítica malsana" ...*

Don Antonio Pastor Giraud

## **2. Las fallas y mecanismo focal de terremotos**

### **Introducción**

Los especialistas en Geología reconocieron, desde hace bastante tiempo, la necesidad de comprender la estructura de los cuerpos rocosos. En específico son los geólogos estructurales los encargados de cartografiar correctamente la disposición de las estructuras geológicas y de efectuar las interpretaciones que expliquen, coherentemente, la historia y el desarrollo de la región donde se localizan. Es evidente que estos estudios tienen gran importancia científica y económica.

Cuando se acometen los estudios de terremotos la importancia de una correcta cartografía de las estructuras resulta fundamental y decisiva. En este sentido se debe indicar que los resultados obtenidos con métodos geológicos se complementan con los alcanzados con la Geodesia y la Geofísica. Ésto que es tremendamente importante y que actualmente es obvio, fue reconocido no hace mucho.

En esta parte se hace una breve y concreta presentación de los conceptos de falla y sus tipos, las causas que producen una falla, del concepto de foco sísmico, y de la relación entre las fallas y las soluciones de mecanismo del foco. Todos esos términos aparecen en el glosario anexo (Tabla A1).

#### **a) Esfuerzo y deformación**

Basta una simple ojeada a un planisferio para comprender que hay una gran heterogeneidad en el relieve terrestre. En particular resultan ser muy significativas las cadenas montañosas continentales y sus disposiciones espaciales; largas y estrechas, amplias y arqueadas, asociadas o en la vecindad de fosas marinas. Y a partir de un recorrido por el terreno o con la ayuda de un mapa geológico se puede ver que en esas zonas de montaña hay estratos rocosos doblados, comprimidos, volcados y fracturados (Fig. 2.1). Se sabe que son las fuerzas tectónicas las responsables de esas deformaciones de las rocas de la corteza terrestre.

Una deformación se refiere a los cambios de forma o de volumen que sufre un cuerpo rocoso cualquiera. Estas deformaciones se localizan principalmente en las zonas de contacto entre las placas. Asociado a una deformación está la causa que la produce, el esfuerzo. Un esfuerzo es la fuerza aplicada por unidad de área para modificar su volumen o su forma, e incluso ambos.

Indicamos que entre las fuerzas dirigidas que deforman a las rocas está la presión confinante. Ésta es causada por la carga de las rocas situadas por encima. Ella es, como la presión del aire, uniforme en todas las direcciones. Así en una cuenca (conocida también como cuenca sedimentaria) donde hay una deposición, las rocas son cubiertas y enterradas sucesivamente a profundidades mayores. Ésto, evidentemente, crea fuerzas compresivas importantes sobre esas rocas, por lo que reducen el volumen y compactan.

Otro caso resulta cuando no hay aplicado sobre la roca un esfuerzo uniforme sino diferencial. Es decir, que se aplican esfuerzos en sentidos diferentes. Ellos se distinguen (Fig. 2.2) de acuerdo al sentido de acción: 1) esfuerzos compresivos son aquellos que acortan a un cuerpo rocoso, tienen sentido convergente; 2) esfuerzos tensionales los que alargan al cuerpo rocoso, tienen sentido divergente; 3) esfuerzos de cizalla cuando hay un deslizamiento lateral entre las rocas.

Se indica que la presión confinante es importante también cuando actúan, sobre las rocas, esfuerzos diferenciales. Sabemos del capítulo 1 que la presión y la temperatura aumentan con la profundidad de la Tierra, así que es fácil comprender que existen diferencias en el comportamiento de las rocas ante la acción de esfuerzos diferenciales en la superficie y en la profundidad. En los ambientes cercanos a la superficie, donde la temperatura y la presión son menores, las rocas se comportan como cuerpos frágiles que se rompen cuando se deforman, mientras que a mayores profundidades son dúctiles y pueden fluir.

Es una cuestión experimentada que las rocas sometidas a esfuerzos primero se deforman elásticamente. Éste es un proceso físico reversible. Luego de persistir los esfuerzos las rocas se deforman plásticamente, aquí el tamaño y la forma de la roca se modifican. Esto es permanente y en el proceso aparecen no sólo los pliegues sino también la fracturación. Hay asociado con estas experiencias varios factores, como el tipo de material o materiales que constituyen a la roca, la localización espacial (en cuanto a profundidad) y el tiempo de acción del esfuerzo. Todo lo anterior permite explicar que existan grandes pliegues en cuerpos rocosos tan diversos.

### **b) Fallas y tipos principales**

Las fracturas localizadas en la corteza terrestre y que demuestran haber tenido lugar un desplazamiento apreciable se denominan fallas. Las fallas se distinguen en una primera aproximación por sus dimensiones. Existen fallas muy pequeñas, del orden de centímetros hasta de cientos y miles de kilómetros como por ejemplo: San Andrés, Bartlett-Caimán, Azores-Gibraltar, Anatolia, etc. (Fig. 2.3).

Las grandes fallas se encuentran conectadas, no siempre de manera evidente, con otras fallas transversales, e incluso pueden estar segmentadas (Fig. 2.4). Esto hace que se defina en el entorno de las grandes fallas una zona, la zona de fallas. En general, las grandes fallas se distinguen muy bien en cualquier material cartográfico. Hoy es frecuente el empleo de imágenes y fotos realizadas desde satélites artificiales para su definición.

Las fallas son la justificación de los terremotos. Por eso es importante clasificarlas de acuerdo a su geometría y dinámica. Ellas pueden ser (Fig. 2.5) de tres tipos principales: 1) normal, 2) inversa, 3) transcurrente. En ocasiones se recogen con otros términos, como vertical y horizontal. En la realidad no existe un tipo puro de falla.

Son pocos los terremotos que rompen la superficie del terreno. Cuando esto se produce aparecen los escarpes de falla (Figs. 2.6 y 2.7). Sin embargo, hay fallas cubiertas que son activas. También los terremotos producen efectos en la superficie terrestre como derrumbes, hundimientos y liquefacción, pero que no son rupturas de falla (Fig. 2.8).

En Sismotectónica es muy importante tener cartografiadas las fallas de acuerdo a los criterios de actividad. Las fallas suelen ser clasificadas en cuatro tipos de acuerdo a esta condición: 1) activa, 2) no activa, 3) potencialmente activa, 4) capaz. Una falla se puede considerar activa cuando ha producido terremotos, ejemplo la falla Oriente (Fig. 1.6). También se considera activa cuando ha tenido desplazamientos en los últimos  $10 \cdot 10^3$  años. La determinación de la actividad no es tarea en lo absoluto sencilla. A este punto se vuelve en el capítulo 9.

Una técnica, relativamente reciente, para la determinación de fallas activas es el empleo de la Paleosismología. Ella comprende el estudio de los terremotos prehistóricos basado en la interpretación del registro geológico que esos terremotos han dejado grabados. Esta técnica se fundamenta en la datación, de los sedimentos y eventos asociados, a partir de trincheras (excavaciones) en sitios donde se asume está la falla.

### **b.1 Métodos para la detección de las fallas**

Las formas del relieve, en cualquier sitio, son un reflejo inequívoco de la tectónica activa. Ellas permiten establecer los estilos y los patrones de las deformaciones. El marco temporal que comprenden los estudios de esa tectónica activa es todo el Cuaternario Superior. Sin embargo, hay que considerar también espacios temporales anteriores, como el Neógeno Superior. Ya que esto permite comprender la evolución espacio-temporal de las estructuras y lograr delimitar los bloques, por grado de actividad, que constituyen a una región.

Las fallas pueden ser determinadas en el terreno o con materiales cartográficos diversos. Para esto hay una serie de indicadores geológicos y geomorfológicos. Por lo general, se hace un estudio combinado. Muchas son las formas del relieve que facilitan la tarea de los especialistas, entre ellas están: las terrazas fluviales y costeras, las cuencas y los valles fluviales, y las depresiones, las pendientes y los escarpes agudos – muy agudos y elevados. También la cartografía de los saltos de corrientes fluviales, las deposiciones de bloques, cantos y sedimentos, etc. permiten la detección y caracterización de una falla. Ejemplo de esto es la costa suroriental de Cuba, específicamente la parte meridional de la Sierra Maestra (Fig. 2.9). En ella es factible encontrar una sucesión de esos elementos, lo que indica sin margen a dudas la presencia de la falla Oriente y su actividad (Cotilla *et al.*, 1991b).

Con la sismicidad y las isosistas también se puede establecer la existencia y localización de una falla (Fig. 2.10). En este sentido hay que valorar con mucho cuidado la calidad de los catálogos utilizados y la fiabilidad de los trazos de las isosistas (Cotilla, 1993).

Como se dijo anteriormente, los métodos de Teledetección (también conocidos como métodos de Percepción Remota) son efectivos para la detección, la delineación y la descripción de las fallas, su actividad y características neotectónicas. En estos estudios se incluyen materiales como: 1) fotos aéreas (individuales, montajes o mosaicos y estereopares) a color, en blanco y negro, y multiespectral, y 2) imágenes o fotos realizadas desde satélites. Hoy en día son muy utilizados.

Los métodos geofísicos de tipo gravimétrico y magnético permiten a escalas de menor alcance que los de métodos de sísmica (reflexión y refracción) detectar fallas. Está demostrado que en los casos de fallas profundas los resultados son espectaculares (Fig. 2.11). Sin embargo, siempre es de importancia la cartografía de las fallas en el terreno (Fig. 2.12). En la figura 2.13 se muestran algunos de los elementos que se distinguen en el terreno vinculados a una estructura geológica.

### **b.2 Ejemplos de fallas en Cuba**

De acuerdo con los mapas geológicos y tectónicos de Cuba, realizados en el marco de las investigaciones científicas con la desaparecida Comunidad de Países Socialistas del Este de Europa (ver capítulo 3), hay un conjunto extenso y variado de fallas. Sin embargo, son pocas las coincidencias entre los distintos mapas confeccionados en general, y en lo referente a las

fallas en particular. González *et al.* (1989) y Cotilla (1993) discuten extensivamente el asunto anterior.

La misma situación para el caso de Cuba, en cuanto a las fallas determinadas, se percibe en los mapas morfoestructurales elaborados por el Instituto de Geología y Paleontología, del Ministerio de la Industria Básica (González *et al.*, 1983) y el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba (Díaz *et al.*, 1989). Otro tanto sucede con los resultados geofísicos que presentan fallas en los mapas (Buznevy, 1969; Oliva, 1976; Bovenko *et al.*, 1980; Fundora, 1982; Rodríguez, 1983; Shein *et al.*, 1985; Bush y Scherbakova, 1986; Díaz Duque *et al.*, 1989; Pérez y Azcuy, 1992; Prol *et al.*, 1993; Cuevas, 1994, 1998). Y para el campo de la teledetección se constata la misma situación (Albear *et al.*, 1982; Cotilla *et al.*, 1988; Pérez *et al.*, 1985 ; Trifonov *et al.*, 1981, 1981a).

Por todas esas diferencias y no tener elementos de decisión para la utilización de las fallas cartografiadas en las tareas de Sismotectónica de Cuba, Cotilla *et al.* (1993) hicieron un estudio crítico. El resultado de ese trabajo indica entre otras cosas que:

- 1- no se ha trabajado en equipos multidisciplinares
- 2- han sido elaborados diversos modelos geológicos con diferente grado de precisión, aunque la base de datos es la misma. Esto conllevó a que para el ajuste de los modelos se definiesen y trazaran fallas, no siempre ajustadas a los datos, y que por consiguiente no hubiese correspondencia en los resultados
- 3- la base de datos gravimétricos, aunque única, ha sido sometida a diferentes procesamientos, con asunciones diversas, por lo que existen una variedad de resultados y modelos, con sus correspondientes interpretaciones. Es en este sentido que se explican las grandes diferencias de los trazos de las fallas
- 4- los materiales aero – cósmicos (o espaciales), fotos e imágenes, utilizados han sido diversos en cuanto a escala y calidad. Además, de que el tratamiento para el descifrado e interpretación ha diferido sustancialmente, incluso dentro de una misma institución, y ha existido escaso o nulo control de campo
- 5- se han empleado epicentros de terremotos, sin discriminarles objetivamente, para el trazado de las fallas activas y para la explicación de los modelos neotectónicos
- 6- se han utilizado datos de perceptibilidad sísmica (datos macrosísmicos) como si fuesen epicentros de terremotos. Además, se considerado a las isosistas sin valorar su fiabilidad para el trazo de las fallas.

No obstante, hay algunos ejemplos que evidencian la existencia de fallas activas en Cuba como: la falla Bartlett-Caimán (u Oriente). Ella se define perfectamente con epicentros, de terremotos fuertes y débiles, y con medias isosistas. Pero esta estructura está reconocida en la literatura desde el siglo XIX. Ahora bien, el autor junto a otros colegas (Cotilla *et al.*, 1991a,b) determinaron, por primera vez, que esa falla en el tramo del suroriente de la Isla tiene una diferenciación en tres sectores: 1) Cabo Cruz-Pilón, 2) Pilón-Baconao, 3) Baconao-Punta de Maisí (ver capítulo 8). En el estudio de esta falla se emplearon los criterios de Tectónica Activa, los datos de sismicidad depurados y los datos y resultados de gravimetría y magnetismo de otros autores. Este resultado de la diferenciación espacial (o segmentación) de la falla Bartlett-Caimán es muy importante para los estimados de la Peligrosidad Sísmica, ya que permiten considerar, de forma objetiva, que la magnitud máxima posible de los terremotos ( $M_{\text{máx}}$ ) tendrá un valor menor que si ella fuese una sola unidad.

### c) Notas sobre Sismología – Sismicidad

Los sismólogos emplean la escala de magnitud para representar la energía sísmica liberada por cada terremoto (Tabla A1). Con el propósito de aproximar al lector a la comprensión de esos términos se presenta la tabla 2.1 con los efectos típicos de los terremotos por rango de magnitud.

Tabla 2.1.- Efectos de los terremotos.

Rango de magnitud (escala de Richter)	Efectos
> 8,0	Gran terremoto. Destrucción total.
7,9-7,0	Terremoto de mayor importancia. Causa graves daños.
6,9-6,1	Puede provocar daños severos en las áreas densamente pobladas.
6,0-5,5	Puede ocasionar daños ligeros a las edificaciones.
5,4-3,5	Ocasionalmente se percibe por la población. Puede provocar daños menores.
< 3,5	Generalmente no se percibe por las personas. Es registrado instrumentalmente.

De acuerdo con Pitak y Atkinson (1982) se presenta la tabla 2.2 que facilita la comprensión de la equivalencia entre la energía liberada con explosivos y los parámetros de magnitud e intensidad sísmica.

Tabla 2.2.- Relaciones entre magnitud, intensidad y energía.

Magnitud	Intensidad	Energía (TNT, Tm)
9-8	XII-XI	$2 \cdot 10^8$
8-7	XI-IX	$6,27 \cdot 10^8$
7-6	VIII-VII	$10^5$
6-5	VII-VI	$6,27 \cdot 10^3$
5-4	V-IV	$2 \cdot 10^2$
4-3	III-II	6
<3	II-I	<0,181

Como la magnitud responde a una relación de tipo logarítmico, se puede decir que una magnitud de 5,2 equivale a una energía de  $2 \cdot 10^4$  Tm de TNT. Esto equivale a la detonación de una bomba atómica; mientras que una magnitud de 8 corresponde a 12.000 bombas atómicas.

### d) Mecanismo focal de los terremotos

Antes de proceder al mecanismo de foco expondremos, de una forma muy concreta, unas ideas, desde nuestra perspectiva, básicas para la Sismotectónica. Así, de acuerdo con Cisternas (1985) los estudios de Tectónica son factibles de enfrentar desde dos posiciones diferentes, pero interconectadas: 1) esfuerzos que se transmiten en la corteza terrestre, 2) deformaciones de la corteza. Esas posiciones conllevan las denominaciones, respectivas, de dinámica y cinemática.

Para los estudios fundamentados en el tensor de esfuerzos es imprescindible recopilar información con varios métodos, los cuales al final deben ser congruentes. Ellos son: 1) microtectónica, 2) medida directa en el sitio y lugar geológicos del tensor, 3) mecanismo focal de terremotos, 4) medida de las posibles anomalías de las estructuras. En la tabla 2.3 se presenta un resumen de esos métodos.

Aceptando que el mecanismo de los terremotos corresponde a una fractura del material que constituye la corteza terrestre, entonces se debe comprender que es necesario determinar la orientación en el espacio del plano de la fractura correspondiente (Keylis-Borok, 1950,

Knopoff, 1961). Para esto es necesario medir tres elementos: 1) el azimut de la traza de la fractura, 2) el buzamiento de la fractura, 3) la dirección / el sentido del movimiento (Fig. 2.12). Esto se puede hacer con técnicas de Geología Estructural. Ahora bien, resulta evidente, hoy día, que no todos los terremotos producen roturas en el terreno. Al respecto hay que matizar que existen eventos sísmicos fuertes y muy fuertes que tienen su epicentro en el mar, así como otros que si tienen su epicentro en la parte emergida, pero que son débiles y no alcanzan a producir la rotura del terreno. En estos casos hay que emplear las técnicas indirectas, es decir los datos de las estaciones sísmicas. Es así que se puede determinar el mecanismo del foco de los terremotos a partir de las ondas sísmicas. Ésta es una tarea del sismólogo; quien para lograr un buen resultado requiere poseer datos de varias estaciones sísmicas.

Tabla 2.3.- Métodos para sostener la hipótesis de los tensores.

Método	Explicación	Autores
Microtectónica	Es factible recuperar información del tensor de esfuerzos a partir de los movimientos que se han producido en las fallas. Esto responde a la idea básica de que movimiento del plano de la falla sigue la dirección de la tensión tangencial sobre dicho plano.	Carey (1976), Armijo y Cisternas (1978), Armijo <i>et al.</i> (1982), Etchecopar <i>et al.</i> (1981)
Medida directa del tensor	Medir en la superficie del terreno y a cierta profundidad las estrías producidas por el movimiento en el plano de fallas.	Froideveaux <i>et al.</i> (1980), Zoback y Zoback (1980) y Cornet y Burler (1992)
Mecanismo focal de terremotos	El uso de soluciones de mecanismos focales individuales y de conjuntos de mecanismos de una misma región.	Udías <i>et al.</i> (1982)
Medida de anomalías en estructuras	Determinación de las deformaciones finitas, aplicando la tectónica de placas, al caso de la deformación continental. Las placas rígidas transmiten la deformación e imponen las condiciones de movimiento en los bordes.	McKenzie y Jackson (1983)

Existen varios métodos para la determinación del mecanismo focal de los terremotos, pero ellos siempre responden a dos perspectivas, estructuras regionales y estructuras locales (Isacks *et al.*, 1968; McKenzie, 1972; Chapman y Bollinger, 1984). Este tipo de estudio resulta ser, sin margen a dudas, el instrumento más efectivo para determinar los esfuerzos tectónicos (Byerly, 1955, Balakina *et al.*, 1961, Honda, 1962). El problema consiste, esencialmente, en deducir la naturaleza de los procesos que ocurren en el foco del terremoto sobre la base de la información que aportan las ondas sísmicas determinadas y registradas en las estaciones. Es decir, hay un problema de tipo inverso que solucionar.

En este punto hay que considerar el concepto de esfera focal (Köning, 1942) (Fig. 2.14). Ella es una esfera de radio unidad con centro en el foco del terremoto, considerado de material homogéneo. Es desde ese sitio que se generan, e irradian en todas las direcciones, las ondas sísmicas. Sin embargo, en la práctica no se emplea la mencionada esfera sino una proyección de ésta sobre un plano. Esas proyecciones son estereográficas, similares a las empleadas en Geología Estructural, y hay dos tipos: 1) Wulf, 2) Schmidt. Actualmente todo este proceso está informatizado, por lo que resulta ser relativamente sencillo.

Aquí expondremos, sucintamente, el método gráfico del primer impulso de la onda P, pero es factible y recomendable representar también los de las ondas S. En la proyección se representan, con símbolos diferentes, los patrones de radiación de la onda (compresión y dilatación) en cuatro cuadrantes de signo alternativo (Fig. 2.14). Luego de representar todos los datos, ellos se separan con dos planos perpendiculares entre sí (Fig. 2.14). Es entonces que surge la cuestión de asignar a uno de esos planos la condición de ser el responsable del terremoto, es decir el plano de falla. Evidentemente, de tener información del terreno la decisión es considerablemente más sencilla.

El foco de un terremoto es un lugar (región) en el interior de la litosfera. Esta región tiene tres dimensiones, y en ocasiones se considera como un punto, una línea y un cuadrado o rectángulo, a los efectos de los tratamientos físico-matemáticos de la investigación. Desde el foco se irradian las ondas sísmicas en todas las direcciones, pero aquí hay posibilidad de considerar que esos patrones sean homogéneos o no. El foco puede estar a distintas profundidades, aunque las regiones se caracterizan por un rango y magnitud concretos. Por ejemplo, Álvarez *et al.* (1985) aseguran que los focos de la parte suroriental de Cuba tienen, generalmente, profundidad inferior a 30 km.

*... "Creen muchos que estando en La Habana y dando un paseo de algunas leguas ya conocen y pueden hablar completamente de la Isla de Cuba, sin comprender que la capital es quizás lo mas exótico de la Isla y que la verdadera Isla de Cuba ya mas bien se encuentra muy al interior" ...*

Don Esteban Pichardo

### **3. Principales características físico - geográficas y neotectónicas de Cuba**

#### **Introducción**

Los resultados de los levantamientos geológicos de Cuba (Academia de Ciencias de Cuba, 1981; Academias de Ciencias de Cuba y Bulgaria, 1981, 1981a; Academias de Ciencias de Cuba y Hungría, 1981; Academia de Ciencias de Cuba y Polonia, 1978, 1981) (Fig. 3.1) han permitido obtener datos concretos de su surgimiento y desarrollo. Estos trabajos fueron dirigidos, en el marco de la denominada colaboración de los entonces países socialistas de Europa (C.A.M.E.), por la parte extranjera, excepto la zona de La Habana, Esta situación de multi-dirección produjo algunas dificultades en cuanto a la forma de interpretar los datos y alcanzar modelos. Así se han concretado, con una misma base, cuatro mapas diferentes, dos a dos, geológicos (Linares *et al.*, 1986) y tectónicos (Mossakovsky *et al.*, 1989; Shein *et al.*, 1985a). Ellos difieren sustancialmente entre sí y resultan ser, evidentemente, un problema para su aplicación en Sismotectónica (Cotilla *et al.*, 1993).

Desde el punto de vista regional Cuba conforma con La Española, Jamaica y Puerto Rico el arco de las Antillas Mayores (Fig. 3.2), y para las que no existe en la actualidad vulcanismo. En este sentido el territorio de Cuba está ubicado dentro del límite norte caribeño y es fundamentalmente llano, aunque posee montañas pequeñas, bajas y medias (siendo la máxima altura de 1.974 m) (Fig. 3.3). El relieve más accidentado se manifiesta en las provincias orientales (85 % montañoso). La figura geométrica de la isla, como reflejo de los procesos compresivos pre-Eoceno Superior, aparece en el mapa como un arco flexionado de norte a sur. Ahora bien, en términos generales Cuba está conformada a partir de esta última edad por una estructura en bloques donde no existen cabalgamientos, ni los espectaculares desplazamientos laterales que actuaron sobre la corteza pre-Eoceno Superior, y que ella está cubierta en todo el territorio por sedimentos del Oligoceno y post oligocénicos.

#### **a) Escenario Geodinámico**

##### **a.1 Aspectos generales**

Las particularidades de la situación geodinámica y del desarrollo geoestructural de Cuba en el sistema del arco insular de las Grandes Antillas están determinadas por su posición en la región Norteamérica-Caribe. Esta región se localiza entre dos continentes, América del Norte y del Sur, y entre dos cuencas oceánicas (océano Atlántico y océano Pacífico), estando constituida por dos sistemas de arcos insulares, fosas marinas y cadenas de montañas submarinas (Jain, 1971; Hernández *et al.*, 1989) (Fig. I.4).

La combinación complejidad e información insuficiente sobre la región ha conducido no sólo a la aplicación sino también a la elaboración de diversas teorías geotectónicas como se recoge en Hernández *et al.* (1989). Desde la perspectiva de la tectónica de placas, consideramos, como otros autores, que en el proceso de interacción dinámica entre las placas de Norteamérica, Suramérica, Caribe, Cocos y Nazca se produjo la fracturación de sus bordes con la consecuente formación de bloques diversos en forma y estructura. Por ello, para comprender la sismicidad de Cuba es necesario examinar en primer lugar su actual entorno tectónico inmediato, el sistema litosférico Norteamérica-Caribe.

En la región Norteamérica-Caribe (Fig. 3.2) hay tres grandes elementos estructurales, la zona continental (desarrollada en el borde submarino de la periferia meridional de la placa Norteamérica), la zona de transición (el bloque Cuba {compuesto por tres unidades regionales: el archipiélago de Cuba, la hoya de Yucatán y el bloque insular submarino Caimán} y la periferia septentrional de la placa Caribe) y la zona marina (la placa Caribe) (Hernández *et al.*, 1989). El bloque Cuba se localiza en la parte meridional de la placa norteamericana (Iturralde, 1977). La zona de interacción entre las placas de Norteamérica y del Caribe está representada por la fosa de Bartlett-Caimán, con una corteza de 5-10 km de espesor. Esta fosa se extiende  $1,6 \times 10^3$  km sublatitudinalmente desde el Golfo de Honduras hasta el noroeste de Haití (Bowin, 1968). Tiene profundidades cercanas a 8 km al sur de la Sierra Maestra en Cuba, donde existe el gradiente neotectónico más fuerte de la región (Cotilla, 1993). El ancho varía entre 100 y 160 km con un perfil asimétrico y el espesor de sedimentos disminuye de oeste a este desde 1,65 a 0,6 km. Tiene un pequeño centro de generación de corteza oceánica (110 km aproximadamente) en los  $81^{\circ} 40'$  W (Holcombe *et al.*, 1973) que permite el desarrollo de un sistema de fallas transformantes (denominadas Swan y Oriente, según su posición oeste y este respectivamente) (Fig. 3.2). Este sistema disyuntivo se conoce en las inmediaciones de Honduras-Guatemala como fallas Polochic y Motagua, responsable del fuerte sismo del 04.02.1976 ( $M_s = 7,5$ ) (Kanamori y Stewart, 1976). MacDonald y Holcombe (1978) determinaron que el suelo oceánico se genera con velocidades diferentes para los últimos 24 millones de años,  $20 \pm 2$  mm/año, y para los últimos  $6,0 \times 10^3$  años,  $40 \pm 2$  mm/año. De acuerdo con Erickson *et al.* (1972) este centro de generación tiene valores de flujo calorífico de hasta  $2,3$  kcal/cm<sup>2</sup>/s y las zonas inmediatamente aledañas a la fosa se caracterizan por tener de 1,3 a  $1,6$  kcal/cm<sup>2</sup>/s.

La placa Caribe se desplaza hacia el este en relación a la placa norteamericana con una velocidad relativa de 2-4 cm/año y específicamente en el sector de Cuba oriental de 2 cm/año y 1-2 cm/año para Jamaica (Jordan, 1976; Molnar y Sykes, 1969; DeMets *et al.*, 1990; Deng y Sykes, 1995). La velocidad relativa del desplazamiento de la placa Caribe es diferente con relación a las placas de Norteamérica (1,4-2,1 cm/año) y Suramérica (1,1-2,2 cm/año). En el límite oeste las placas Cocos y Nazca subducen bajo la placa Caribe, y en el límite este la subducción no se presenta tan definida, pero si manifiesta desde las inmediaciones de la isla de Barbados, en las Antillas Menores (Westbrook *et al.*, 1973) (Fig. 3.2). En este sentido, la interacción dinámica de la placa Caribe es, aparentemente, mayor en el borde occidental que en el oriental, ya que las velocidades relativas estimadas (para la subducción) alcanzan valores de 7 a 9 y 2,2 cm/año, respectivamente. Los estimados anteriores no incluyen la influencia de las deformaciones internas de las placas.

## **a.2 Aspectos específicos**

En la literatura geológica de Cuba hay numerosos y muy variados trabajos dedicados a la generalización tectono-estratigráfica, en los cuales, y según diversos criterios y concepciones, se encuentran no pocas interpretaciones acerca del origen y la evolución de Cuba. El autor ha escogido un modelo propuesto por Iturralde (1981) en el cual se asume la presencia de un territorio con corteza continental, aproximadamente, en la misma situación geográfica que la Cuba actual. Ahí se desarrolló entre el Triásico Tardío y el Eoceno Medio una nueva corteza, esta vez oceánica, debido a un complejo proceso de apertura intracontinental por la migración al sur del paleocontinente y con

referencia a la plataforma de Las Bahamas. En el espacio creado se desarrolló una nueva estructura de cuenca que se consolidó (Cretácico Superior-Eoceno Superior Temprano), en un marco geodinámico de migraciones hacia el norte y al este del paleocontinente, con corteza de tipo sialica acrecionada a la Plataforma de las Bahamas. Este proceso se puede distinguir en cuatro etapas: 1) continental; 2) oceánica; 3) continentalización; 4) moderna o neoplatafórmica. Dado el carácter de nuestro trabajo sólo nos referiremos a la última de esas etapas.

En general, es aceptado por la mayoría de los especialistas en tectónica que hay dos enfoques diferentes para precisar la etapa inicial del desarrollo neotectónico de un territorio, el geológico y el geomorfológico. Para Cuba han sido aplicados ambos enfoques. Shein *et al.* (1975) consideran desde el punto de vista geológico que la etapa neoplatafórmica está definida en el final del Paleógeno. Aseguran esos autores que en esa etapa cesó toda la actividad magmática del arco insular y se comenzó a producir la transformación de las estructuras plegadas por estructuras de bloque. El enfoque geomorfológico se fundamenta, evidentemente, en el relieve y a partir de él Lilienberg (1973) aprecia la división en bloques de las morfoestructuras, con el predominio de movimientos verticales y la consecuente formación de un campo diferencial. Esta posición ha permitido distinguir dos subetapas: Oligoceno-Mioceno y Mioceno-Pleistoceno (Hernández *et al.*, 1989). Queda claro que hay un punto común entre ambos enfoques, la división en bloques (con diferente tendencia en la vertical) de la corteza en un fondo de movimientos horizontales débiles.

Entonces, de acuerdo con Iturralde (1977) la actual estructura geológica de Cuba está definida por un sistema de bloques (de los tipos *horst* y *graben*) en una tendencia de movimientos verticales oscilatorios desde el Eoceno Superior (Fig. 3.4). Con el surgimiento de esta estructura quedó redefinido el plano geológico compresivo anterior de arcos de islas volcánicas (substrato plegado) incluidas sus fallas, por lo que las nuevas rupturas poseen características (cinemáticas, dinámicas y morfológicas) propias, muy diferentes de las de etapas anteriores. Otros autores (Díaz, 1985; Hernández *et al.*, 1989; Álvarez, 1992; Prol *et al.*, 1993; Cuevas, 1994) han comprobado por diferentes vías la existencia del mecanismo oscilatorio de estos bloques.

Ushakov *et al.* (1979) definieron a la microplaca Cuba, para Cotilla (1993) megabloque Cuba, como una neoestructura de la placa de Norteamérica, donde sus límites son la sutura Nortecubana, el morfoalineamiento oriental de Yucatán y el sistema septentrional de Bartlett-Caimán. Sobre esa base, se propuso para Cuba un modelo neotectónico con dos unidades independientes: Occidental y Oriental (Fig. 3.5), las cuales poseen una marcada diferenciación en cuanto a características tectónicas, geomorfológicas, geofísicas y sismológicas. El límite entre ellas es el sistema de fallas Cauto-Nipe (CN) de dirección NE, que se articula diferentemente al sur y al norte con los sistemas de fallas (límites externos del neoplano) Bartlett-Caimán (BC) y Surcubana (SC), y Nortecubana (NC), respectivamente (Fig. 3.6). Esta propuesta se corresponde aceptablemente con el mapa de anomalías de Bouguer de Oliva y Prol (1990). La unidad Occidental tiene la mayor extensión superficial y su actividad neotectónica es significativamente menor que la de la Oriental; también está más alejada del límite de placas, antes mencionado, de BC. En atención al conjunto de características neotectónicas y a la distribución espacio-temporal y energética de los sismos se delimitaron cuatro unidades sismotectónicas (US) (Occidental, Central, Oriental y Suroriental), que coinciden geográficamente con las unidades neotectónicas

(homónimas) y el límite de placas, respectivamente (Fig. 3.7). Los resultados gravimétricos de Prol *et al.* (1993) sugieren la existencia de esas unidades.

Insistiendo en el tema de las investigaciones geofísicas para el estudio de la estructura profunda de Cuba, podemos mencionar que éstas no son pocas en cantidad (Soloviev, 1962; Levchenko *et al.*, 1976; Oliva, 1976; Scherbakova *et al.*, 1977; Ushakov *et al.*, 1979; Bovenko, 1980; Fundora, 1982; Rodríguez, 1983; Shein *et al.*, 1985; Bush y Sherbakova, 1986; Pusharovsky *et al.*, 1987; Díaz Duque *et al.*, 1989; Alvarez, 1990; Oliva y Prol, 1990; Prol *et al.*, 1993; Cuevas, 1994). Sin embargo, ellas tienen, en su mayoría, un carácter fragmentario y en consecuencia sólo es factible componer un cuadro general, no pocas veces contradictorio (Cotilla *et al.*, 1993). Esas investigaciones indican que la corteza de Cuba es heterogénea y que contiene elementos de diferente origen y edad. Además, distinguen un arreglo cortical en tres capas con importantes variaciones en las direcciones transversal y lateral al eje mayor de la isla.

Con este fundamento resultan ser los sistemas de fallas submarinas (BC, NC y SC) los principales por el nivel de actividad, las dimensiones y la función de límites externos; mientras que para la parte emergida hay otros sistemas menores que constituyen límites de bloques de distinta disposición, geometría, dimensiones y estructura. Estos elementos son de dos direcciones principales con relación a la estructura longitudinal de Cuba: NE (transversal) y ONO-NO (longitudinal) (Mossakovsky *et al.*, 1989). Las de primer tipo, por lo general, no se expresan en el relieve (ej. Cauto-Nipe), sino que están cubiertas por importantes espesores de sedimentos y las del otro tipo, aunque expresadas por sectores, están limitadas por las primeras (desde el Eoceno Medio). Con respecto a los sistemas disyuntivos menores no hay, hasta el momento, coincidencia entre los especialistas (Cotilla *et al.*, 1993).

*...”El que reposa desde ayer...era un justo. Todo su elogio, toda su apología está en esta palabra, que yo, humilde admirador, grabaría sobre la piedra de su tumba...El P. Viñes de la C<sup>a</sup> de Jesús ha sido en La Habana hasta el mismo día de su muerte, un ejemplo de la excepcional grandeza de esa C<sup>a</sup>” ...*

“La Lucha”, 25 de julio de 1893

## **4. Personalidades relevantes de la Sismología en Cuba**

### **Introducción**

El arribo de los españoles al archipiélago cubano en octubre de 1492 y su paulatino asentamiento en poblados, primero en la parte oriental y luego hacia las partes centro oriental, central y occidental (Fig. 4.1), ha permitido a algunos autores, en distintas épocas, la confección de relaciones y catálogos de terremotos. Los catálogos son, no sólo, reflejo inequívoco de la actividad sísmica de Cuba sino también del esfuerzo científico de especialistas e instituciones.

En este sentido consideramos que Cuba exhibe con justo orgullo, a lo largo de su historia, una rica pléyade de hombres que han dedicado sus energías e inteligencia a las Ciencias de la Tierra, y en particular para el campo de la Sismología son varias las personalidades que se destacan. Así hay que apuntar, al menos, una divisoria en el tiempo, ya que con anterioridad al año 1962 aparecen españoles y cubanos y con posterioridad a esa fecha hay además alemanes, checos, rusos y tadjikos. Por supuesto, tal situación se corresponde con condiciones políticas específicas que ni siquiera mencionaremos.

Concretamente, el origen, hasta hoy conocido y documentado, de la Sismología en Cuba es posterior a la llegada de los españoles. No obstante, el autor ha podido intuir, de una forma preliminar, a partir de algunas conversaciones con especialistas en arqueología de la filial pinareña de la entonces Academia de Ciencias de Cuba (Fig. 4.2) que los aborígenes (más de 1.000 años de asentamiento) conocían de la sismicidad de algunas zonas. También a partir de los tres mapas que indican los asentamientos aborígenes que aparecen en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba (Pino *et al.*, 1989) es factible comprender nuestra posición.

#### **a) Síntesis de la vida y la obra de las personalidades históricas**

En el marco mundial la ocurrencia de terremotos fuertes ha sido, por norma general, el factor principal del desarrollo de la Sismología. Desde el punto de vista del autor, en el caso de Cuba [siglo XIX y principio del siglo XX] la influencia de personalidades científicas fue el “catalizador” (Cotilla, 1998). Cuba no tiene científicos que hayan contribuido excepcionalmente a la Sismología. Sin embargo, históricamente sus especialistas han dedicado mucha energía y derrochado talento para suplir la falta de recursos y aplicar todo conocimiento novedoso (Cotilla, 1998).

Muchas personas han dirigido su atención al campo sismológico de Cuba, pero entre las que más se destacaron están: Andrés Poey y Aguirre, Benito Viñes Martorell, S.J., Pedro Salterain y Legarra, Mariano Gutiérrez Lanza, S.J. y Eduardo Monteulieu y de la Torre. Los cuatro primeros se desarrollaron en la etapa anterior al año 1962 y el último alcanzó los inicios de la segunda.

Andrés Poey y Aguirre, considerado el Padre de la Sismología Cubana, que nació en Ciudad de La Habana el 15.02.1825 y que fuese educado en Francia, donde murió en la mayor y terrible pobreza el día 04.01.1919. Este sabio preparó los primeros catálogos para Cuba en 1855 (Fig. 4.3) y que en 1857 extendió a las denominadas entonces Indias Occidentales. Fue miembro de la Real Academia de Ciencias Médicas, Física y

Naturales de La Habana desde el 03.03.1861. Este científico fue maestro de Escuela en Francia e impartió diversas conferencias en Cuba, Chile, España, Estados Unidos, Francia y México. En la tabla 4.1 se relacionan sus publicaciones.

Tabla 4.1.- Trabajos de Don Andrés Poey y Aguirre.

Nº	Título	Localización
1	Table chronologique comprenant trois cent soixante – quatre cas d'ourans cycloniques, qui curent lien aux Indes occidentales et dans le nord de l'Atlantique, dans une periode de 362 années, de 1493 á 1855.	1855, 5p. Impr. Par E. Thunot et ce., París, (en Francés)
2	Sur les tempêtes electriques et la quantité de victimes que la foudre fait annuellement aus États – Unis d' Amérique et á l'ile de Cuba.	1855, 8 p. (en Francés)
3	Mémories sur la fréquence des clintes de grêles a l'ile de Cuba.	1855, 20 p. Mallet-Bachelier, París, (en Francés)
4	Météorologie des caracteres physiques des acloirs en boules et de leur affinité avec l'état sphéroïdal de la matiere.	1855, 7 p. Impr. Dubuisson et cie., París, (en Francés)
5	Tableau chronologique des tremblements de terre ressentis a l'ile de Cuba de 1551 á 1855.	Annales des Voyages, 6ª serie, 11, 301 p. Malte-Brun, París, (en Francés)
6	Supplément au tableau chronologique des tremblements de terre ressentis a l'ile de Cuba de 1530 á 1855.	Annales des Voyages, 4, 86 p. Malte-Brun, París, (en Francés)
7	Catalogue chronologique des tremblements de terre ressentis dan les Indes Occidentales de 1530 á 1857. Accompagné d'une Revue Bibliographique Contenant Tous les Travaux Relative aux Tremblements de Terre des Antilles.	1857, Annuarie de la Societé Météorologique de France, 5, 75-227, París, (en Francés)
8	Réparttion géographie de l'universalité des météores en zones terrestres atmosphériques, solaires oue lunaires.	1858, 24 p. A. Bertrand, París, (en Francés)
9	Ensayo de una sismología del valle de Méjico, por el Excmo. Sr. Conde de la Coptina. Comentado por Don Andrés Poey y Aguirre.	1859, 43 p. Impr. A.M. Dávila, La Habana
10	Ley de la coloración y decoloración de las estrellas en su ascensión y declinación del horizonte al cenit y vice-versa.	1859, 13 p. Impr. A.M. Dávila, La Habana
11	Ley de la coloración y decoloración de los arcos del limbo del sol y de los planetas en su ascensión y declinación del horizonte al cenit y vice-versa.	1859, 7p. Impr. A.M. Dávila, La Habana
12	Catálogo metódico de las aves de la Isla de Cuba.	1860, Boletín de la Real Academia de Ciencias de La Habana, 12 p.
13	El Positivismo. (Traducción de A. Regalado González).	1960, Editorial de la Universidad de La Habana
14	Travaux sur le météorologie, la physique du globe en général, et sur la climatologie de l'ile de Cuba it des Antilles.	1861, Versailles, Societé meteorologique de France, 24 p., (en Francés)
15	Sur la neutralité de la force électro-magnétique de la terre et de l'atmosphère observée á ala Havane: durant les aurores boréales de 1859, expériences qui confirment ou qui annullent l'action électrique.	1861, Versailles, Societé meteorologique de France, 18 p., (en Francés)
16	Relation historique et théorie des images photo-électriques de la foudre observées depuis l'an 360 de notre ére jusqu'en 1860.	1861, 2 ed. Rev. Et aungui, Mallet-Bachelier, París, (en Francés)
17	Table chronologique de quatre cents cyclones qui out séoir dans las Indes occidentales et dans l'océan Atlantique nord, pendant un intervale de 362 années (despuis 1493 jusqu'en 1855).	1862, 49 p. Impr. De Dupont, París, (en Francés)
18	Effects physico-mécanique et biologiques de la foundre qui, se rattachent aux propriétés de l'électricité artificielle.	1862, 559-582 pp. Impr. W. Remquet, Goupyet Cª., París, (en Francés)
19	Étoiles filantes observées a la Havane: du 24 juillet août 1862, et sur la non existence, sous cette latitude, du retour périodique	1862

	du 10 au 11 août.	
20	Étoiles filantes observées a la Havane: du 24 juillet août, et sur le retour périodique du mois d'août.	1864
21	Appel aux nations hispane-américaines.	1864, Lith. Chanvin, Paris, (en Francés)
22	Sur l'existence des arcs surnuméraires a la Havane et sur les arcs-enciel observés depuis l'In 360 de notre ère jusqu'en 1860.	1863
23	Bibliographie cyclonique.	1866, 96 p. 2 ed cor ét. Considérablement agrim., Impr. Administrative de P. Dupont, Paris, (en Francés)
24	Généralités sur le climat et Mexique et sur l'éclipse totale de lune du 30 mars dernier.	1866, 5p. Gauthier-Villars, Paris, (en Francés)
25	Relación del gran terremoto acaecido el 13 y 16 de agosto de 1868 en las repúblicas del Perú, Chile y del Ecuador, relacionado con otros temblores de tierra en Acapulco, Islas de Sanceoide, Japón, Australia, Hungría, Inglaterra y San Thomas, acontecidos hasta el 16 de noviembre.	1868, 16 p., Impr. "La Antilla", de Coelio – Negrete, La Habana
26	New classification of clouds.	1871, 432-456 pp. Washington, (en Inglés)

Benito Viñes Martorell, S.J., (Fig. 4.4) Padre de la Orden de los Jesuitas y director (desde su llegada a Cuba en 1870) del Observatorio Magnético y Meteorológico del Real Colegio de Belén en La Habana (Fig. 4.5), natural de Pobleda (Cataluña), España, nació el 19.09.1837. Científico sagaz que apuntó, ya en época tan temprana, las dificultades de algunos informes y catálogos de terremotos de Cuba y su divorcio con las condiciones tectónicas. Indicó, por primera vez, las diferencias sismogénicas entre Cuba occidental y Cuba oriental. Falleció en La Habana el 23.07.1893. Ingresó como Académico de Mérito de la Real Academia de Ciencias Médicas, Física y Naturales de La Habana el 23.02.1873. En la tabla 4.2 aparecen sus publicaciones.

Tabla 4.2.- Trabajos del Padre Benito Viñes Martorell, S.J.

Nº	Título	Localización
1	Practical hints in regard to West Indian hurricanes.	1855, (en Inglés)
2	Investigaciones relativas a la circulación y traslación de los huracanes en las Indias Occidentales.	1856
3	Huracanes del 17 de octubre de 1870. Observaciones magnéticas y meteorológicas hechas por los alumnos del colegio de Belén, de la Comunidad de Jesús en La Habana. Año meteorológico de 30 de noviembre de 1869 a 30 de noviembre de 1870.	1871, Impr. Avisador Comercial, La Habana
4	Apuntes relativos a los huracanes de las Antillas en setiembre y octubre de 1875 y 76.	1877
5	Excursión a Vuelta Abajo de Viñes y Salterain en ocasión de los fuertes temblores de tierra ocurridos en la noche del 22 al 23 de enero de 1880.	1880, Ediciones "La Voz de Cuba", La Habana, 68 p.
6	Ciclonoscopio de las Antillas.	1888, (en Francés)
7	La naturaleza en Cuba.	1932, Diario de la Marina, 54-57 pp.

Pedro Salterain y Legarra nació el 12.03.1835 en Lrum (Guipuzcua), España. Como geólogo se desempeñó pioneramente en las investigaciones de reconocimiento sismológico de campo a raíz del sismo de 1880, preparó un catálogo de terremotos y colaboró activamente con don Fernández de Castro en la preparación del "Croquis Geológico de Cuba". Fue Académico de Número de la Real Academia de Ciencias

Médicas, Física y Naturales de La Habana desde el 14.03.1884 hasta el 20.02.1893 en que renunció.

Mariano Gutiérrez Lanza, Padre de la Compañía de Jesús, era natural de Parcadé (León), España donde nació el 26.05.1865. Fue director del Observatorio del Colegio de Belén y tuvo a su cargo la instalación y explotación de la primera estación sismológica en Cuba (Fig. 4.6). Él analizó el registro del terremoto de Gibara de 1914. Además dibujo con este terremoto las primeras isosistas de Cuba. Divulgó en diferentes estrados y publicaciones los conocimientos de la Sismología. Fue Académico de Mérito de la Real Academia de Ciencias Médicas, Física y Naturales de La Habana desde el 26.02.1915. Falleció el 24.12.1943 en La Habana. La tabla 4.3 contiene sus publicaciones.

Tabla 4.3.- Trabajos del Padre Mariano Gutiérrez Lanza, S.J.

Nº	Título	Localización
1	Apuntes históricos acerca del observatorio del colegio de Belén.	1904, Impr. Avisador Comercial, La Habana
2	Puntos de vista sobre los terremotos. Trabajo al IV Congreso Científico,	1910, Vol. V, Santiago de Chile
3	Conferencias de Sismología pronunciadas en la Academia de Ciencias de La Habana.	1914, Editorial Imprenta y Librería de Lloredo y Cña., La Habana, 178 p.
4	El aguacate y el mango.	1926, Montalvo, Cárdenas y Cña., La Habana
5	Ciclones que han pasado por la Isla de Cuba. Génesis y evolución del huracán del 20 de octubre de 1926.	1926, Impr. De Dovibecker, La Habana
6	El Padre Benito Viñes, S.J., y su obra científica humanitaria al frente del observatorio del colegio de Belén.	1936, Molina y Cña., La Habana, 27 p.

Eduardo Monteuilieu y de la Torre (Fig. 4.7), natural de Puerto Príncipe (actual provincia de Camagüey), nació el 27.07.1883. Se graduó en 1904 de ingeniero en Minas por la Universidad de Harvard, Estados Unidos de Norteamérica. Ocupó desde el 11.01.1935 el puesto de Académico de Número en la Real Academia de Ciencias Médicas, Física y Naturales de La Habana. Publicó varios trabajos de importancia, como: *“El megasismo de Santiago de Cuba del 3 de febrero de 1932 a la luz de la Sismología Moderna”*. Recopiló gran cantidad de información sobre terremotos de Cuba que lamentablemente no se publicaron. Argumentó infructuosamente acerca de la necesidad de instalar al menos dos estaciones sismológicas, una en Santiago de Cuba y otra en La Habana. Después del año 1960 fue apartado de la Ciencia por razones de opinión intelectual. Montouliou (1933) trazó e interpretó las isosistas del sismo de Santiago de Cuba de 1932 (Fig. 4.8). También es Montouliou quien hace la primera clasificación “energética” de los sismos de cubanos, cuando propone en el catálogo tres niveles [megasismo, macrosismo y microsismo].

Estos cinco especialistas no sólo estudiaron eventos sísmicos y contribuyeron al desarrollo de la Sismología de su época [aproximadamente 100 años] sino que también ayudaron a la sociedad cubana, desde una posición científica, para superar el oscurantismo y el temor a los desastres naturales (Cotilla, 1998). Los cinco fueron miembros de la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana: Andrés Poey [en 1861], Benito Viñes [en 1873] y Mariano Gutiérrez [en 1915] como Académicos de Mérito, mientras que Pedro Salterain [en 1884] y Eduardo Montouliou [en 1935] como Académicos de Número. Montouliou también fue Miembro Residente

de la Sociedad Cubana de Ingenieros y ésta le tributó un reconocimiento solemne en sesión plenaria por su destacada actividad científica (Sociedad Cubana de Ingenieros, 1940).

En relación con la formación intelectual de estos ilustres se puede decir que Viñes, Salteráin y Gutiérrez la adquirieron en Europa (España y Francia). Mientras que Poey lo hizo en Francia y Cuba. Montouliou estudió en los Estados Unidos de Norteamérica. Pero al analizar la estructura y el contenido de sus trabajos, es evidente que dominaban todo lo anterior publicado y se mantenían actualizados con los avances de esta disciplina. Otras descripciones se encuentran en Serrano y Álvarez (1983), Cotilla (1995, 1998) y Cotilla *et al.* (1996).

Otro aspecto importante, para el autor, es el contexto socio-político en el que se desarrollaron estas personalidades. Desde esta perspectiva, los tres primeros vivieron en el marco de una colonia española del siglo XIX. El primero, Andrés Poey, procedente de familia económicamente acomodada y de intelectuales destacados, murió en Francia en la más terrible miseria. Los otros dos, Benito Viñes, S.J. y Pedro Salteráin y Legarra, ambos españoles y que murieron en Cuba, donde se les acogió como hijos. El caso del jesuita Mariano Gutiérrez-Lanza es similar en este último aspecto al de los dos anteriores, pero se desmarca en el sentido de que él vivió los finales de la colonia española, la presencia de un gobierno militar de intervención norteamericano y el nacimiento de la República. Eduardo Montouliou conoció en la práctica sólo la vida republicana y el inicio del auto - denominado Gobierno Revolucionario de 1959. Este ingeniero destacó por su valentía personal al enfrentarse con ideas científicas y técnicas a las decisiones gubernamentales de los años 1959 y 1960. No obstante, todos ellos se mantuvieron al margen de la política (Cotilla, 1998).

Como se puede observar, a partir de las fechas presentadas, todos los personajes mencionados tuvieron relación, directa o indirecta, entre sí. Así, Viñes y Salteráin trabajaron en equipo multidisciplinar [sismólogo y geólogo, respectivamente] en el fuerte terremoto de San Cristóbal [provincia de Pinar del Río, 23.01.1880, I= 8 grados MSK] (ver capítulo 5). Gutiérrez-Lanza fue el relevo generacional de Viñes en el Observatorio del Colegio de Belén, en La Habana. Salteráin continuó la mejora del catálogo para Cuba de Poey (Salteráin, 1884) con las observaciones de Viñes (Cotilla, 1998). Poey, Viñes y Salteráin coincidieron en la Real Academia de Ciencias Médicas, Física y Naturales de La Habana. También en ese mismo marco Gutiérrez-Lanza y Montouliou contemporizaron. Montouliou fue el último eslabón de esa generación espléndida que supo contribuir a la ciencia con trabajos de campo, publicaciones de estilo más moderno y ampliando el catálogo de terremotos (Montouliou, 1932, 1933, 1947, 1968) y manteniendo el vínculo científico con Gutiérrez-Lanza (Cotilla, 1998). Todos ellos residían en La Habana.

Un elemento más de la genialidad de Benito Viñes se puede interpretar de los premios recibidos por la construcción del ciclonoscopio y el ciclonefóscopo [instrumentos meteorológicos para los marinos] durante la Feria – Exposición de Chicago. En cuanto a Poey, añadimos que fue miembro de la Academia de Ciencias, de Bellas Artes y Letras de Dijón, Francia (*Académie des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Dijon*, fundada en 1740), corresponsal de la Sociedad Zoológica Americana y Socio de la Academia de Ciencias Exactas de Madrid. Residió en Francia por más de 30 años donde trabajó como profesor de idiomas y filósofo positivista. En el Liceo de *New York* ocupó la cátedra de

Física. Los venerables nombres de Poey y Viñes, así como una reseña de sus trabajos, se recogen en el afamado Diccionario de la Lengua Española.

Los especialistas Poey, Viñes y Gutiérrez también investigaron y aportaron en los campos de meteorología y magnetismo terrestre (Ramos, 1994; Udías, 1996). Otros autores como los señores J. de la Pezuela, E. Pichardo, J. Jover, J.A. Martínez-Fortun y Follo, E. Bacardí, L. Morales y Pedroso y C. Cruz Bustillo han descrito o recogido sucesos sísmicos de Cuba, incluso confeccionado catálogos, pero ninguno de ellos alcanza la connotación de los anteriormente mencionados.

### **b) Personalidades de la etapa posterior al año 1962**

La colaboración científica en materia de Sismología, para el caso cubano, se constata a partir del sismo del 03.02.1932 de Santiago de Cuba. En ese marco especialistas norteamericanos de la Universidad de Princeton, bajo la dirección de Richard I. Field, investigaron durante más de seis semanas la región suroriental de Cuba. Utilizaron incluso un submarino de la Armada norteamericana. El eminente sismólogo holandés M. Meizner formó parte de la Comisión. De hecho Taber sufrió los efectos del sismo y algunas de sus réplicas en la Base Naval norteamericana de Guantánamo.

Se debe indicar que la intervención militar norteamericana (a partir del año 1898) indujo al reconocimiento, inmediato y exhaustivo, de las características geológicas de Cuba (Hayes *et al.*, 1901; Vaughan y Spencer, 1901) y sus zonas aledañas (Vaughan, 1916, 1918, 1919; Daron, 1926; Woodring, 1928). En ese contexto hay también trabajos como el de Brodermann (1918). Broderman fue miembro de la Sociedad Cubana de Ingenieros de Cuba. Indudablemente, de esta intensa y extensa actividad científica se tienen magníficos resultados (Taber, 1920, 1922a,b, 1931, 1934), los cuales permitieron, entre otras cosas, confirmar la hipótesis de las Unidades Sismogénicas de Cuba, realizada por Benito Viñes, S.J. (Cotilla, 1998).

De acuerdo con Cotilla (1995) los resultados anteriormente mencionados configuraron un soporte apropiado para las tareas de Gutiérrez-Lanza y Montoulieu. Los trabajos de Gutiérrez-Lanza (1914) y Taber (1920, 1922a,b) son los primeros en que se conjuga la actividad sísmica con la tectónica del Caribe Norte. Además, en ellos se argumenta la existencia de un sistema sucesivo e intercalado de fallas de distinto tipo. Esta línea de trabajo se aplicó, magistralmente, como se indicó anteriormente en el sismo del 03.02.1932 de Santiago de Cuba por Morales y Pedroso (1933).

Otro aspecto de colaboración se aprecia en la incorporación del país (1907-1940) a la Asociación Internacional de Sismología, que tenía su sede en Estrasburgo, Francia. Esta adhesión fue gracias al esfuerzo del Colegio de Belén, y en particular del Padre Mariano Gutiérrez Lanza, S.J. y a la remisión periódica de los datos de la estación Luyanó (1907-1920).

Con los ex - países socialistas de Europa del Este (1960-1990) la colaboración permitió la preparación de técnicos y especialistas cubanos en Sismología y en particular que cinco de ellos obtuviesen el grado de doctor en ciencias. En la tabla 4.4 aparecen algunos de esos países y especialistas que colaboraron con Cuba (Fig. 4.9).

Tabla 4.4.- Relación de países y algunos especialistas que han colaborado con Cuba.

País	Especialistas
Unión Soviética	Z. Aranovich, V.I. Buné, V.M. Freund, A.A. Godzikovskaya, V.L. Golubiatnikov, L.M. Lyskov, S.V. Medvedev, R.S. Mijailova, V.N. Krestnikov, L.A. Kogan, T.G. Rautian, N.V. Shebalin y F.S. Tregub
República Democrática Alemana	P. Bankwitz, E. Bankwitz, P. Borman, J. Ellenberg, H.J. Franzke, G. Grünthal, W. Strauch, J. Pilarski, M. Pilarski y K. Teuser
República de Checoslovaquia	V. Kárník, V. Schenk y Z. Shenkova

Consideramos también que en general ha sido importante, para el caso de Cuba, la contribución del *GeoForschungsZentrum*, de Potsdam en cuanto a la preparación de los especialistas que han participado en los cursos que esa institución y al UNESCO imparten. Esos cursos (*International Training Course on Seismology, Hazard Assessment and Risk Mitigation*) se iniciaron en la década de 70 del siglo XX, con un formato de conferencias magistrales y clases prácticas en temas relacionados con la Sismología y la Tectónica.

Los especialistas cubanos colaboraron con algunos colegas de Nicaragua en los estudios de peligro sísmico en los alrededores de Managua y Masaya en la década del 80, siglo XX. Ellos también impartieron en Cuba gran cantidad de cursos y entrenamientos de postgrado (Tabla 4.5).

Tabla 4.5.- Relación de algunos de los cursos de postgrado impartidos en Cuba.

Nº	Título
1	Riesgo sísmico para objetos de obra industriales y asentamientos humanos
2	Cuestiones metodológicas para microrregionalización
3	Cinemática neotectónica
4	Conceptos y métodos de estudio de la geodinámica
5	Estudios morfoestructurales en sismotectónica
6	Teledetección en geociencias
7	Utilización de materiales morfoestructurales en investigaciones geofísicas
8	Análisis sismogénico
9	Métodos de investigación neotectónicos y su aplicación a Jamaica
10	Métodos geomorfológicos de gabinete, su utilidad y resultados en el ejemplo de La Española
11	Riesgo sísmico para objetos de obra industriales y asentamientos humanos
12	Cuestiones metodológicas para microrregionalización sísmica

Se incluyen en la tabla 4.6 algunos de los cursos de formación organizados e impartidos, por el autor, a los técnicos y observadores de las estaciones sismológicas de Cuba.

Tabla 4.6.- Relación de algunos cursos impartidos a técnicos en Sismología.

Nº	Título
1	Geología, tectónica y geografía
2	Nociones matemáticas básicas en sismología
3	Sismología
4	Sismología general
5	Sismología para observadores de la red sismológica nacional
6	Sismología general I
7	Cuestiones fundamentales de sismología y tectónica
8	Nociones matemáticas básicas

Las estaciones sismológicas Soroa y Cascorro, y Río Carpintero fueron producto de donaciones de la Unión Soviética y de la República Democrática Alemana,

respectivamente (Figs. 4.10 y 4.11). Y en la tabla 4.7 se relacionan los países con los que se ha mantenido colaboración con posterioridad al año 1994.

Tabla 4.7.- Relación de países con los que actualmente Cuba tiene relación en temas de Sismología.

Nº	País	Colaboración
1	China	Estancias y convenios de adquisición de equipos
2	Italia	Estancia y formación
3	Japón	Estancia y formación
4	México	Estancia y formación
5	Noruega	Estancia y formación

Sobre la base de las ideas rusas, principalmente, se han desarrollado diversos estudios de estimación de la peligrosidad sísmica para el territorio de Cuba como unidad (Álvarez *et al.*, 1985, 1990, 1991; Rubio, 1984) y para algunas partes de él (Álvarez, 1983; Álvarez y Buné, 1977). En este sentido, se han obtenido distintos modelos. Así, en términos generales se puede asegurar que el grado de conocimiento es bueno; pero debido a algunas suposiciones incluidas en los modelos hay limitaciones para su aplicación. Como ejemplo, se presenta en la figura 4.12 uno de los mapas de peligrosidad sísmica. También en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba (Álvarez *et al.*, 1988) aparece un mapa doble (T= 100 años y T= 1.000 años), escala 1:2.000.000. Ellos han sido considerados en las normas constructivas.

En esa línea de colaboración, Krestnikov *et al.* (1983) prepararon, con el objetivo de los estudios del posible asentamiento de una Central Electronuclear en Cienfuegos, el primer mapa de zonas sismogeneratoras para una región de Cuba, la central (Fig. 4.13). Posteriormente, se confeccionaron con idéntica metodología otros mapas y esquemas para las regiones occidental, oriental y centro – oriental (Orbera, 1980, 1983, 1985; Orbera *et al.*, 1987, 1989, 1989a, 1990). Para Cuba, en su conjunto, Cotilla *et al.* (1991a) elaboraron una plataforma teórica diferente y obtuvieron el primer mapa sismotectónico, escala 1:1.000.000 (Fig. 3.6).

La mayoría de las investigaciones de microrregionalización sísmica en Cuba, para obras industriales importantes y ciudades, se sustenta fundamentalmente en las propuestas de Medvedev (1973, 1977) (Fig. 4.14). Estos estudios conllevan una fase de gabinete y otra instrumental; instrumental que fue cedido también por la Unión Soviética. Los trabajos más significativos en esta línea han sido realizados en las zonas de Santiago de Cuba y Holguín. Más recientemente se ha colaborado con Japón en este campo (Seo *et al.*, 1998).

A raíz de la desaparición de la “Comunidad de Países Socialistas de Europa del Este”, y en particular de la interrupción del apoyo soviético a Cuba, se confrontaron muchas dificultades, tales como: falta de insumos para la correcta operación de las estaciones, los intercambios de especialistas se interrumpieron, las donaciones materiales desaparecieron, etc. Esta situación favoreció cierta participación, con anterioridad siempre muy restringida por parte de la administración cubana, en cursos y entrenamientos en países del área capitalista (Italia, Japón y México), y la publicación en algunas revistas internacionales. Estas actividades no son financiadas por la parte cubana. Por ejemplo, la firma MAPFRE de España apoyó, decididamente, un proyecto de investigación sobre peligrosidad sísmica para el área de Cuba (Rodríguez, 1995). De Italia, Trieste, está la colaboración con *The Abdus Salam International Center for*

*Theoretical Physics* (ICTP), de Noruega aparece la Universidad de Bergen *Institute of Solid Earth Physics* y de México la Universidad Autónoma. Destacamos la colaboración lograda en el año 1997 a través de la UNESCO-ICTP (de Trieste) con el denominado *PROJECT 3: «Physical Instability of Megacities (PIOM)»*. Ese proyecto estaba dirigido al estudio de la predicción sísmica y el riesgo sísmico en un total de 20 áreas o ciudades del mundo, entre ellas Santiago de Cuba.

Llegados a este punto, debemos apuntar que es probable que para completar la historia sismológica de Cuba aún queden algunos aspectos. Pero consideramos que los más significativos están aquí recogidos.

### **c) Apuntes finales**

Es muy difícil evaluar la actuación y los resultados científicos de especialistas que en otros momentos y contextos desarrollaron su actividad. Indiscutiblemente, se corre el riesgo de ser injusto. Sin embargo, esta situación no se puede eludir si se desea hacer una exposición de tipo histórico-científica, como ésta. Sobre esta base utilizaremos un párrafo de Poey (1868) ...”según las últimas noticias recibidas, la Cámara de diputados de Chile había aprobado, y el Senado desechado, un proyecto para enviar una Comisión científica al Perú ó al Ecuador, á fin de que estudiara en el teatro mismo de los acontecimientos, los extraordinarios fenómenos que han tenido lugar. Es de sentirse sobre manera esta negativa y los hombres de ciencia de Europa, tendrán que lamentar este conflicto”...Como se puede colegir del párrafo anterior ese especialista cubano recomienda, sin cortapisas, desde una tribuna científica la primacía de la razón científica sobre la política. Esta posición es válida, aún para Cuba, en la actualidad.

En la obra de Don José Domingo Cortés (1875) se dice textualmente de Andrés Poey: “Astrónomo cubano, fundador del Observatorio de la Habana. En 1874 presentó a la Academia de ciencias de Paris dos interesantes comunicaciones sobre las manchas del sol. Poey, que ha consagrado su existencia a trabajos de semejanza naturaleza, ha publicado también un Catálogo de temblores en las Antillas, i es uno de los hombres que más ilustran con sus conocimientos a la América.” También de Poey escribió Don Francisco Galcagno (1878): “...A sus esfuerzos se debió el primer establecimiento físico-metereológico, creado por el Gobierno Supremo en la Isla, del que fue director por muchos años, hasta 1868; bajo el imperio de Maximiliano dirigió el Observatorio Metereológico de Méjico, con licencia del Gobierno de Madrid, y presentó sus trabajos á S.M. que reconoció su mérito...”

El grado de conocimiento científico que existía de Cuba desde 1492 hasta mediados del siglo XIX se puede encontrar en Pichardo (1854). En esa obra están las características físico-geográficas y geodésicas de Cuba e incluso de la idiosincrasia de sus pobladores por región. Ese experimentado y sagaz geógrafo descubre, diáfano, la verdad acerca del “surgimiento” y evolución de los trabajos geográficos (en el sentido amplio del término). Así refiere “...El Mapa más antiguo es el de Juan de la Cosa que pinta solamente la parte hidrográfica de estas Islas: su fecha año 1500... Algunos de esos Mapas pueden verse en la Grande Obra, Historia Física, Política y Natural de la Isla de Cuba del Sr. D. Ramón de la Sagra. A su simple inspección saltan los errores crasos y los graves defectos de proyección formal y material: no merecen la pena de detenerse en ellos, ni encuentro disculpa en la época, cuando en más remotos tiempos se dieron á luz esquisitas Obras sobre materias en que después se ha adelantado mucho. Solo por

vía de curiosidad puede conservarles un anticuario”...Consideramos que no merece comentarlo.

La Sismología en Cuba, como proceso, se debe interpretar sobre la base de su localización en el tiempo. Es decir, considera el autor que hay que asumir cuatro segmentos temporales: **1)** desde el arribo de los españoles en 1492 hasta el fin del siglo XVIII; **2)** el siglo XIX casi en su totalidad; **3)** del fin del siglo XIX a mediados del siglo XX; **4)** desde 1959 hasta la fecha. El primer segmento fue de caos. Esto, evidentemente, está dado por el proceso de colonización, las acciones de corsarios y piratas y las diversas situaciones políticas, económicas y científicas de la metrópoli. El segundo segmento aunque tiene una mejor situación económica (Pezuela, 1863; 1866) mantiene como principal deficiencia la escasa o nula contribución económica del aparato estatal, lo que se refleja muy bien en: **A)** la no creación de un centro de investigaciones sismológicas o la no adscripción de los especialistas a la Universidad; **B)** la muy limitada divulgación de los resultados. En este intervalo temporal se encuentran dos elementos muy importantes: **a)** el desarrollo de teorías e hipótesis científicas y otros sucesos en el mundo (Tabla 4.8); **b)** la guerra entre pobladores de Cuba y la corona de España [con la intervención norteamericana en 1898].

Tabla 4.8.- Relación de algunos de los resultados más relevantes del Mundo para el campo de la Sismología en el siglo XIX.

AÑO/AUTOR	ACONTECIMIENTO
1807/Young	Usa el concepto de ondas elásticas
1821/Navier y 1822/Cauchy	Establecen la teoría de la elasticidad
1830/Poisson	Determina las ondas longitudinales y transversales
1845/Stokes	Introduce los conceptos de módulos de compresibilidad y cizalla
1846/Mallet	Publica su primer trabajo general sobre terremotos
1857/Mallet	Expone la idea de foco puntual con la observación de una falla de deslizamiento lateral
1860/Mallet	Construye el primer mapa mundial de la sismicidad
1865/	Se realizan observaciones sistemáticas en Manila con los seismoscopios y sismógrafos instalados en el período 1881-1889
1874/De Rossi	Establece la escala de intensidades sísmicas
1875/Suess	Propone el concepto de región focal y divide los terremotos en volcánicos y de dislocación
1880/Gray, Ewing y Milne	Construyen el primer sismógrafo
1880	Se crea la Sociedad Sismológica de Japón
1883	Explosión del Krakatoa
1887/Rayleigh	Determina la onda Rayleigh
1888/Schmidt	Descubre el modo de propagación de las ondas en el interior de la Tierra
1897/Wiechert	Lanza la hipótesis del núcleo de hierro de la Tierra
1897.06.12	El terremoto de Assam, India
1899/Knott	Codifica la reflexión y la refracción de las ondas elásticas

La guerra de Cuba y España comenzó en el año 1868 y se prolongó, con interrupciones, hasta final del siglo XIX. Esta situación además de afectar en mucho el *status* económico del país provocó que la ciencia quedase relegada a un plano inferior de importancia. Desaparece de escena el mandato español y toma posesión con todas sus prerrogativas el gobierno militar de intervención norteamericano.

El tercer período tiene dos partes. La primera donde se recoge el impulso científico de la etapa precedente y la continuación del desarrollo mundial (Tabla 4.9). En la segunda parte está el decaimiento estrepitoso. Es aquí [1920] cuando se detiene el funcionamiento de la estación sismológica de La Habana. Todo esto, lógicamente, conllevó la pérdida del nivel alcanzado y a la no transferencia directa de los conocimientos a nuevas generaciones.

El control estatal absoluto en el último segmento es la principal deficiencia. En él se ha conseguido la mayor cantidad de resultados de la historia sismológica cubana. Una situación similar fue señalada [en la parte II: Geografía y Geología de Terremotos] para la Unión Soviética por Richter (1958). A raíz de la desaparición del bloque de países socialistas del este europeo [en 1990] se observó en Cuba, para la ciencia sismológica, una definida tendencia a la baja (Cotilla, 1998).

Otra deficiencia general es la muy escasa o nula colaboración con países del área del Caribe. Característica apreciada por Richter (1958) en la Unión Soviética, estado que aplicó el sistema socialista como el que existe aún en Cuba. Esto se puede comprobar para el último período con el catálogo de MIDAS [Middle America Seismograph], en que se recogen cuatro sismos del noreste de Cuba [uno el 28.12.1998, dos del 05.01.1999 y uno del 01.08.2003] y no se consignaron sus estaciones. Cuba forma parte del Consorcio MIDAS [1997] junto con Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos de Norteamérica, Granada, Guadalupe, Honduras, Jamaica, Martinica, México, Nicaragua, Panamá, Puerto Rico, República Dominicana, Trinidad y Tobago, y Venezuela. Cuba tampoco tiene página *web* en el terreno sismológico. En la tabla 4.10 aparecen direcciones de internet de países del área inmediata a Cuba.

Tabla 4.9.- Principales acontecimientos en el campo de la Sismología desde principios a mediados del siglo XX.

AÑO/AUTOR	ACONTECIMIENTO
1900/Wiechert	Construye un nuevo tipo de sismógrafo
1900/Montessus de Ballore y Milne	Confecionan sus mapas de sismicidad del mundo
1903	Se organiza la Asociación Internacional de Sismología
1904/Lamb y 1907/Volterra	Argumentan la teoría de las dislocaciones elásticas
1905/Omori y 1909/Galitzin	Relacionan el signo del primer impulso de la onda P con su carácter de compresión y dilatación
1906/Oldham	Verifica la hipótesis del núcleo de la Tierra
1906/Galitzin	Desarrolló el sismógrafo electromagnético
1909/Mohorovicic	Determina la discontinuidad entre la corteza y el manto
1910/Reid	Lanza la teoría del "rebote elástico" (primer modelo mecánico del origen de los terremotos)
1911/Love	Precisa la existencia de la onda Love
1911	Se crea la Sociedad Sismológica Americana
1913/Gutenberg	Establece la profundidad del núcleo exterior de la Tierra (2900 km)
1913/Walker	Admite la conexión del signo de la onda P y el mecanismo de la fuente sísmica
1915/Milne y Shaw	Desarrollan un nuevo tipo de sismógrafo
1924/Nikiforov	Instala en la URSS sismógrafos
1925	Se constituye en St. Louis la organización sismológica de los Jesuitas
1928/Wadati	Determina focos sísmicos profundos
1935/Benioff	Construye una nueva generación de sismógrafos
1935/Richter	Publica la escala de magnitud
1936/Lehmann	Descubre el núcleo interior de la Tierra
1946	En las islas Bikini se realiza el primer ensayo nuclear
1946	Se crea el servicio de observaciones de tsunamis del Pacífico
1954.03.29	Se determina un terremoto a 640 km de profundidad al sur de España
1957.07.01-1958.12.31	Año Internacional Geofísico

Tabla 4.10.- Algunas direcciones de Internet con contenido sismológico.

Nº	Dirección
1	<a href="http://midas.upr.clu.edu/">http://midas.upr.clu.edu/</a>
2	<a href="http://wwwneic.cr.usgs.gov/">http://wwwneic.cr.usgs.gov/</a>
3	<a href="http://www.cicese.mx/">http://www.cicese.mx/</a>
4	<a href="http://tlacaelel.igeofcu.unam.mx/spanish_vrs_1.htm">http://tlacaelel.igeofcu.unam.mx/spanish_vrs_1.htm</a>
5	<a href="http://www.ssn.unam.mx/">http://www.ssn.unam.mx/</a>
6	<a href="http://rmsismo.upr.clu.edu/">http://rmsismo.upr.clu.edu/</a>
7	<a href="http://www.seismosoc.org/">http://www.seismosoc.org/</a>
8	<a href="http://wwwquake.uwimona.edu.jm:1104/">http://wwwquake.uwimona.edu.jm:1104/</a>

9	<a href="http://volcano.ipgp.jussieu.fr:8080/guadeloupe/stationgua.html">http://volcano.ipgp.jussieu.fr:8080/guadeloupe/stationgua.html</a>
10	<a href="http://osso.univalle.edu.co/">http://osso.univalle.edu.co/</a>
11	<a href="http://www.snet.gob.sv/Geologia/ultsent.php">http://www.snet.gob.sv/Geologia/ultsent.php</a>
12	<a href="http://www.igp.gob.pe/">http://www.igp.gob.pe/</a>
13	<a href="http://lgula.ciens.ula.ve/">http://lgula.ciens.ula.ve/</a>
14	<a href="http://www.funvisis.org.ve/">http://www.funvisis.org.ve/</a>
15	<a href="http://www.un.se/~dca/geophysics.html">http://www.un.se/~dca/geophysics.html</a>
16	<a href="http://www.una.ac.cr/ovsi">http://www.una.ac.cr/ovsi</a>
17	<a href="http://www.Up.dc.pa/instituto/geociencia/igc.html">http://www.Up.dc.pa/instituto/geociencia/igc.html</a>

A modo de información y para posibles consultas se expone que en la página *web* (<http://www.ig.utexas.edu/research/projects/caribbean>) de la UTIG (*The University of Texas for Geophysics at Austin*) EE.UU. se localizan los resultados más relevantes que sobre el campo de la Geofísica existe para el Caribe. Algunas de las direcciones *web* de Europa en materia de Geofísica – Sismología aparecen en la tabla 4.11.

Tabla 4.11.- Direcciones de Internet de Europa con contenidos de Geofísica.

Nº	Dirección
1	<a href="http://geoscope.ipgp.jussieu.fr/">http://geoscope.ipgp.jussieu.fr/</a>
2	<a href="http://www.gfz-potsdam.de/geofon/">http://www.gfz-potsdam.de/geofon/</a>
3	<a href="http://www.serviziosismico.it/">http://www.serviziosismico.it/</a>
4	<a href="http://orfeus.knmi.nl/">http://orfeus.knmi.nl/</a>
5	<a href="http://www.meteo.pt/sismologia/sismologia.html">http://www.meteo.pt/sismologia/sismologia.html</a>
6	<a href="http://www.geo.ign.es/">http://www.geo.ign.es/</a>
7	<a href="http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/">http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/</a>

No se han realizado reimpressiones de las aportaciones escritas de los cinco sismólogos. Tampoco se ha retomado la edición de una revista sismológica. No existe la asignatura Sismología en las universidades. La conservación de los sismogramas obtenidos por la red de estaciones cubana [1964-1995] era deficiente (Cotilla *et al.*, 1996). En igual sentido es característico que los programas de mantenimiento y reparación del equipamiento no se cumplieran (Cotilla *et al.*, 1996). Luego, el desarrollo de la Sismología en Cuba no ha sido un proceso ascendente y secuencial sino que se ha producido a saltos y con interrupciones, en ocasiones a la baja.

Todo el proceso del surgimiento y desarrollo de la Sismología en Cuba se puede esquematizar como un conjunto de “pulsos” positivos y negativos dependientes de factores subjetivos. Ese conjunto no llega a constituir una onda, ya que hay importantes discontinuidades en el tiempo. En este sentido, la presencia y actuación de las cinco personalidades [Poey, Viñes, Salterain y Legarra, Gutiérrez-Lanza y Montoulieu], comentadas anteriormente, constituyen impulsos positivos. Los resultados científicos alcanzados después de 1962 conforman tendencias positivas. Son pulsos negativos el desinterés de los gobiernos [siglo XV-1959] y el excesivo control estatal [1962-1998] y las actuales limitaciones económicas. Favorecen el desplazamiento a la parte positiva de los pulsos las contribuciones de otras disciplinas.

Un trabajo que desde la perspectiva general cubana confirma nuestras ideas sobre la Ciencia en Cuba es el de Lezcano (1995). Para ilustrar lo anterior reproducimos, sin comentarles siquiera, un fragmento de ese interesante artículo: ...«Hasta finales de los años ochenta, el país contaba con un subsidio impresionante de la antigua Unión

*Soviética, lo que le permitía movilizar todos los recursos posibles para enfrentar un desastre, pero esta movilización no se sustentaba en una relación de costo-beneficio, enmascarando la ineffectividad del sistema para enfrentar estos casos. Ahora bien, ni aún contando con los resultados de detallados estudios de planificación y prevención a cualquier escala y para cada tipo de fenómeno, con una entidad de predicción meteorológica completamente equipada y las arcas repletas de dinero, el problema se resolvería, pues el principal enemigo de un esquema eficaz para la mitigación de los desastres naturales o de cualquier tipo en Cuba, es la centralización estatal y la relación social de propiedad»...*

*... "La libertad mental es aún más difícil de adquirir que la libertad política" ...*

Don Alejandro von Humbolt

## 5. José Martí y la Sismología

### Introducción

El propósito del autor es rendir homenaje y a la vez divulgar las cualidades, quizás no tan conocidas, del ilustrísimo cubano que fue Don José Martí, en el campo de las ciencias naturales y en particular en la Sismología. La empresa es sumamente compleja, por ello el autor solicita la condescendencia de los lectores al comprobar las lógicas e insalvables diferencias en el texto, por el estilo inigualable del Maestro para la exposición de las ideas.

Antes de continuar estamos obligados a decir que José Martí Pérez (Fig. 5.1) nació en La Habana el día 28.01.1853 y murió en combate en la localidad de Dos Ríos, antigua provincia Oriente, el día 19.05.1895. Siempre se destacó por su extraordinario dominio de las letras en la escritura y el hablar. Además, fue un pensador político muy avanzado para su época.

#### a) El terremoto de Charleston, E.E.U.U.

El terremoto de Charleston, Estados Unidos de Norteamérica, ocurrió el 1 de septiembre de 1886 a las 02:51 UTC (Fig. 5.2). El foco se situó en las coordenadas 32,9 grados de latitud norte y 80,0 grados de longitud oeste. La intensidad sísmica determinada fue de X grados, en la escala de Mercalli Modificada (de 12 grados), y la magnitud estimada (Ms) de 7,3.

Este terremoto se produjo en una zona de interior de placa, específicamente en la placa de Norteamérica. Su localización epicentral está muy alejada de las zonas de contacto entre las placas, pero el valor de la magnitud es tan importante como si fuese de una zona de colisión. Además, las afectaciones a las personas y sus bienes fueron tremendamente grandes. La figura 5.2 recoge las isosistas del terremoto de Charleston (U.S. Geological Survey). Y la figura 5.3 muestra daños producidos por ese sismo (Cook).

La importancia científica que tiene este terremoto se puede comprender, incluso por un lego en Sismología, al constatar el gran número de trabajos dedicados a él, entre ellos los agrupados en la tabla 5.1. Incluso en la actualidad hay dos páginas webs dedicadas al terremoto de marras:

(1-[http://neic.usgs.gov/eqlists/USA/1886\\_09\\_01\\_iso.html](http://neic.usgs.gov/eqlists/USA/1886_09_01_iso.html);

2-[http://www.eas.slu.edu/Earthquake\\_Center/1886EQ/](http://www.eas.slu.edu/Earthquake_Center/1886EQ/))

Tabla 5.1.- Relación de algunos trabajos sobre el terremoto de Charleston.

Trabajo
U.S. Geological Survey, Ninth Ann.Rept. 1887-88. The Charleston earthquake of August 31, 1886. 203-528 pp.
R.N.S. Whitelaw y A.F. Levkoff. Charleston come hell or high water. Published by A.F; Levkoff y P.F Whitelaw, South Carolina, 146 p.
D.W. Rankin (1977). Studies related to the Charleston, South Carolina, earthquake of 1886. A preliminary report. Ed. U.S. Geological Survey Professional Paper 1028, 204 p.
T.R.Visvanathan (1980). Earthquakes in South Carolina 1698-1975. Bulletin 40, South Carolina Geological survey, 61 p.
O.W. Nuttli, G.A. Bollinger y R.B. Herrmann (1986). The 1886 Charleston, South Carolina, Earthquake. A 1986 perspective. U.S. Geological Survey Circular 985, 52 p.

W.J.McGee, E. Sloan, G.E. Manigault, S. Newcomb y others (1986). First-hand observations of the Charleston Earthquake of August 31, 1886. Editors: K.E. Peters y R.B.Herrmann. Bulletin 41, South Carolina Geological Survey, 116 p.
U.S. Geological Survey Professional Paper 1313 (1983). Studies related to the Charleston, South Carolina, earthquake of 1886. Tectonics and seismicity.
U.S. Geological Survey Professional Paper 1367 (1990). Studies related to the Charleston, South Carolina, earthquake of 1886. Neogene and Quaternary lithostratigraphy and biostratigraphy.
G.L. Cook. 1886 earthquake photos.

## b) Trabajo periodístico de Martí

Un evento sísmico fuerte es siempre noticia periodística, por ello el sagaz e incansable genio intelectual de Martí dedicó un extenso y autorizado artículo al terremoto de marras. El trabajo lo publicó en el diario “La Nación”, de Buenos Aires, Argentina, los días 14 y 15 de octubre de 1886. Este escrito es un bello ejemplo, incluso para nuestros tiempos, de lo que es el periodismo científico. Por supuesto, en aquel tiempo no se conocía tal denominación.

*“Un terremoto ha destrozado la ciudad de Charleston. Ruina es hoy lo que ayer era flor, y por un lado se miraba en el agua arenosa de sus ríos, surgiendo entre ellos como un cesto de frutas, y por el otro se extendía a lo interior en lindos pueblos, rodeados de bosques de magnolias y de naranjos y jardines.*

*Nunca allí se había estremecido la tierra, que en blanda pendiente se inclina hacia el mar; sobre suelo de lluvias, que es el de la planicie de la costa, se extiende el pueblo; jamás hubo cerca volcanes ni volcanillos, columnas de humo, levantamientos ni solfataras; de aromas eran las únicas columnas, aromas de naranjos perennemente cubiertos de flores blancas. Ni del mar venían tampoco sobre sus costas de agua baja, que amarillea con la arena de la cuenca, esas olas robustas que echa sobre la orilla, oscuras como fauces, el Océano cuando su asiento se desequilibra, quiebra o levanta, y sube de lo hondo la tremenda fuerza que hincha y encorva la ola y la despide como un monte hambriento contra la playa”.*

Martí en estos dos párrafos describe magistralmente la situación geográfica del territorio que sufrió la catástrofe, exponiendo que en su relieve de llanuras bajas y de bajo ángulo de pendientes, no habían sido reportadas actividades volcánicas, ni sísmicas; y tampoco se conocía de ningún *tsunami* (o maremoto) en sus costas. Nos dice además que el territorio era de tipo continental y en consecuencia estable. Sin embargo, este concepto, no se introduce en la Sismología hasta los años 80 del siglo XX. Desliza sutil, pero a la vez mesuradamente, que la evolución geodinámica de un área de la corteza queda impresa en las diferentes unidades tectónicas que la componen.

*“Tiembra aún el suelo, como si no se hubiese acomodado definitivamente sobre su nuevo quicio; ¿cuál ha podido ser la causa de este sacudimiento de la tierra?”*

En esta parte Martí expresa que aún persisten las “réplicas” del terremoto. Éste es otro concepto sismológico que se introduce en el siglo XX. Además, apunta a la causa mecánica de los terremotos. Suponemos que conocía de los trabajos de A. von Humbolt

en cuanto a la relación entre las fallas y los terremotos, así como el trabajo del terremoto de Nápoles de 1857, trabajo clásico de la Sismología.

Martí finaliza el párrafo con una pregunta que se enmarca en el pronóstico de terremotos. Esta pregunta aún no tiene respuesta.

*“¿Será que encogidas sus entrañas por la pérdida lenta de calor que echa sin cesar afuera en sus manantiales y en sus lavas, se haya contraído aquí como en otras partes la corteza terrestre para ajustarse a su interior cambiando y reducido que llama a sí la superficie?”*

*La Tierra entonces, cuando no puede resistir la tensión, se encoge y alza en ondas y se quiebra, y una de las bocas de la rajadura se monta sobre la otra con terrible estruendo, y tremos sucesivo de las rocas adyacentes siempre elásticas, que hacia arriba y a los lados van empujando el suelo hasta que el eco del estruendo cesa”.*

Aquí Martí expone en forma interrogativa los conocimientos del equilibrio energético y la propagación de ondas durante la ocurrencia de un sismo. Esto demuestra su actualización científica, ya que hoy día se conoce que la Tierra sufre una deformación continua, de tal forma que un terremoto no es más que un rápido episodio dentro de todo el dinámico proceso de deformación de la litosfera en una escala de miles de años. El estudio de tal deformación de la corteza antes y después de un terremoto permite sustentar al modelo mecánico del rebote elástico. Modelo que fue expuesto y desarrollado a raíz del terremoto de 1906 en San Francisco por Reid (Fig. 5.4). Obsérvese que expone el movimiento de los bloques a ambos lados de una falla y la acción de la tensión.

*“Pero acá no hay volcanes en el área extensa en que se sintió el terremoto; y los azufres y vapores que expele por sus agujeros y grietas la superficie, son los que abundan naturalmente por la formación del suelo en esta planicie costal del Atlántico baja y arenosa”.*

Martí insiste nuevamente en la idea de la no presencia en el territorio de volcanes, ni vapores asociados a ellos. Es decir, descarta el origen volcánico del terremoto y a la vez plantea que esta región se localiza cerca de la costa atlántica, que es de tipo baja y con sedimentos. Esta cuestión, quizás trivial, para su época, es un “alerta” a los especialistas, que hoy día podemos percibir en su justa dimensión, la enorme importancia y el alcance de sus observaciones. Introduce para nuestra sorpresa la idea de “zona estable.”.

En general los especialistas han dividido el globo terráqueo en bandas de actividad sísmica y volcánica; por sólo mencionar una de ellas, está el Cinturón Circum Pacífico (Fig. I.5). En tales bandas se libera la inmensa mayoría de la energía acumulada en el interior de la Tierra. No obstante, hay zonas y regiones (denominadas estables fuera de esas bandas activas que de acuerdo con las investigaciones de Johnston (1989) han reportado las siguientes cifras de terremotos: África= 10, Australia= 11, China= 7, Europa= 5, India= 5; Norte América= 14 y Sur América= 3. Estos eventos tienen magnitudes del orden de los terremotos más fuertes de las zonas activas, aunque con mucha menos frecuencia. El mecanismo de tales terremotos en zonas estables, se plantea es debido a la reactivación de los esfuerzos compresivos en zonas de fallas

paleotectónicas (zonas débiles de la corteza), incluso cubiertas por miles de metros de espesor de sedimentos (lo que indica su “inactividad”, de acuerdo a la Geología).

Sobre la base del trabajo de Johnston (1989) una zona continental estable es aquella zona que: 1) Posee corteza continental, incluyendo las plataformas, los escudos y también las áreas de corteza continental adelgazada; 2) Excluye los límites de placas litosféricas activas y las zonas directamente afectadas por ellos. No posee o muestra deformaciones asociadas en las etapas Mesozoica y Cenozoica; 3) Excluye las grandes zonas de apertura, de vulcanismo y de sutura del Neógeno.

Obsérvese cómo esta definición científica contemporánea coincide casi íntegramente con la exposición de Martí de 1886. ¡Sencillamente es genial!

*“¿Será que allá en los senos de la mar, por virtud de ese mismo enfriamiento gradual del centro encendido, ondease el fondo demasiado extenso para cubrir la bóveda amenguada, se abriera como todo cuerpo que violentamente se contrae, y al cerrarse con enorme empuje sobre el borde roto, estremeciera los cimientos todos, y subiese rugiendo el movimiento hasta la superficie de las olas?*

*Pero entonces ¿se habría arrugado la llanura del mar en una ola monstruosa, y con las bocas de ella habría la tierra herida cebado su dolor en la ciudad galana que cría flores y mujeres de ojos negros en la arena insegura de la orilla?”*

El Apóstol plantea diáfananamente el mecanismo de generación de los *tsunamis* y su posible vinculación con las oscilaciones internas de las diferentes esferas de la Tierra, descartando tal idea como la causa del terremoto.

*“¿O será que, cargada por los residuos seculares de los ríos la planicie pendiente de roca fragmentaria de la costa, se arrancó con violencia, cediendo al fin al peso, a la masa de gneis que baja de los montes Alleghanys, y resbaló sobre el cimiento granítico que a tres mil pies de hondura sustenta a la orilla del mar, comprimiendo con la pesadumbre de la parte más desasida de la roca las gradas inferiores de la planicie, e hinchando el suelo y sacudiendo las ciudades levantadas sobre el terreno plegado al choque en ondas?*

*Eso dicen que es; que la planicie costal del Atlántico blanda y cedente, cediendo al peso de los residuos depositados sobre ella en curso de los siglos por los ríos, se deslizó sobre su lecho granítico en dirección al mar”.*

Concluye la exposición del problema con una idea, aún hoy muy discutida en los círculos científicos, y es la referida a la reactivación de las estructuras paleotectónicas. Esta cuestión de la reactivación de estructuras “antiguas” y supuestamente inactivas sujetas a otro tipo de evolución en la actualidad es factible de apreciar en el mecanismo propuesto por Johnston.

### **c) El terremoto del 23.01.1880 de San Cristóbal, Pinar del Río**

El autor considera que en Cuba hay dos casos análogos al terremoto de Charleston: Ellos son los eventos sísmicos ocurridos los días: 1) 23 de enero de 1880, en San Cristóbal, provincia Pinar del Río que fue estudiado por Viñes y Salterain (1880) (Fig.

5.5); 2) 16 de diciembre de 1982 en Torriente-Jagüey Grande, provincia Matanzas (Chuy *et al.*, 1983) (Fig. 5.6). Pero en esta ocasión sólo nos referiremos al primero de ellos.

En la noche – madrugada del día 22 al 23 de enero de 1880 fue estremecida violentamente, por un terremoto, una parte de la región occidental de Cuba, que de acuerdo con las evaluaciones de Chuy *et al.* (1988) tuvo las características que se recogen de forma resumida en la tabla 5.2.

Tabla 5.2.- Datos del terremoto de San Cristóbal (de acuerdo con Chuy *et al.*, 1988).

Fecha	Ms	Intensidad (MSK)	Localidades		estructura geológica responsable
			del epicentro (provincia)	más alejadas con perceptibilidad	
1880.01.23	6,0	8	San Cristóbal (Pinar del Río)	1) Cienfuegos, Cuba 2) Cayo Hueso, E.E.U.U.	Falla Pinar

Hasta el presente ha sido éste el evento sísmico más fuerte de la región Occidental, la cual se extiende desde el Cabo de San Antonio hasta Cauto-Nipe (Fig. 3.5). Para la mayoría de los especialistas de las Ciencias de la Tierra de Cuba la estructura responsable del terremoto de San Cristóbal es la falla Pinar. Esta falla se expresa muy bien en el relieve de la provincia Pinar del Río y ella separa diafanamente territorios de montaña al norte (Sierras del Rosario y de los Organos) de la Llanura Aluvial del Sur de Pinar del Río. Ella, la falla, es bien reconocida y descrita en todos los trabajos de corte: geofísico (Oliva, 1976), geomorfológico (Díaz, 1985), neotectónico (Shein *et al.*, 1975), sísmico (González *et al.*, 1994, 1995), sismotectónico (Chuy *et al.*, 1984, 1988; Orbera *et al.*, 1990), y teledetectivo (Trifonov *et al.*, 1981; Pérez *et al.*, 1985; Portela *et al.*, 1985). Los mapas geológico de Linares *et al.* (1986) y tectónico de Mossakovskiy *et al.* (1989) también la incluyen, pero designándole como la principal estructura disyuntiva en la mencionada provincia.

El sismo de 1880 despertó, desde el primer momento una especial atención, por parte de científicos, gobierno y población; ya que sorprendió con viva fuerza a toda la sociedad. A partir de ese acontecimiento las autoridades y la población que hasta entonces consideraban que era la región Oriental (entender Santiago de Cuba) la única que podía sufrir las consecuencias de terremotos, quedaron conmovidas al comprobar la realidad de sucesos sísmicos fuertes en el Occidente del País. Por tal razón se desataron lógicos temores y no pocas especulaciones sobre el origen del terremoto y las posibles repeticiones de sismos. Así fue que se designó una Comisión Científica de dos miembros y que presidía el Padre Viñes para que reconociese las localidades afectadas y expusieran en un informe todas sus opiniones y valoraciones, así como las medidas a tomar.

El informe de marras quedó patentado bajo el siguiente título: “Excursión a Vuelta Abajo de Viñes y Salteráin con ocasión de los fuertes temblores de tierra ocurridos en la noche del 22 al 23 de enero de 1880”, y firmado por Benito Viñes y Pedro Salteráin. Fue editado por “La Voz de Cuba”, en La Habana con un total de 68 páginas. En la actual Biblioteca Nacional de Cuba, en Ciudad de La Habana se conserva un ejemplar. Del mismo extraemos los siguientes fragmentos (todas las negritas y subrayado son del autor):

Página 5: ... "Examinadas las ruinas de Candelaria y habiéndonos hecho cargo de la constitución de aquellos terrenos, nos trasladamos a Balestena, casa situada al pie de las lomas en la finca denominada Rangel del Sr. Sauvalle. Merced á su sólida construcción y á que los temblores se sintieron con mucha menor intensidad en las lomas que en el llano, esta casa sufrió muy poco, aunque lo bastante para poderse apreciar el sentido de la oscilación.

...La segunda observación es que **nos convencimos más y más de que el centro de oscilación o foco de mayor intensidad de los temblores no había que buscarlos en aquellas temidas lomas, sino más bien fuera**"...

La utilización del término loma, en el informe, es con referencia a las elevaciones montañosas (conocidas en la actualidad como Sierra del Rosario y Sierra de los Organos, las cuales en conjunto han sido denominadas como el Grupo Montañoso Guaniguanico) (Fig. 3.3).

... "Esta última idea se robusteció en nosotros con ocasión de los nuevos temblores que se experimentaron en la noche del 29 al 30. En efecto: estos temblores, que se sintieron con bastante fuerza aun en los puntos que se hallan situados más al Sur hacia el litoral, no los sentimos absolutamente en Balastena, á pesar de hallarnos dispuestos á aquella hora....De suerte que la zona conmovida por los temblores que en la noche del 22 al 23 alcanzaba por lo menos notable intensidad desde mas allá de Mantua al oeste, hasta Matanzas al este, y hasta Cayo Hueso al norte, **quedaba al presente, al parecer, circunscrita en la zona comprendida entre el litoral del sur y las lomas, San Diego de los Baños y Artemisa por la otra, con la particularidad notable de ser en ambos casos el mismo el eje de mayor intensidad del fenómeno**"...

Página 10: ... "De allí seguimos nuestra excursión á Candelaria para dirigirnos al siguiente día al ingenio Galope, en Bayate... Tres fatales circunstancias á nuestro parecer, concurrieron á esa total ruina; la de hallarse el ingenio situado en la zona de mayor intensidad del fenómeno, lo inestable del terreno y el haberse verificado la oscilación en diagonal respecto á las fábricas, con lo cual quedaban desbaratadas ó deshechas todas las paredes, derrumbándose aquellas... La torre de la máquina quedó partida y como cortada á bisel por el ángulo NE1/4E, y de las dos torres de los trenes la una cayó al NE1/4E y la otra al SO1/40,... El terreno subterráneo retumbaba sin cesar al SO... Por este mismo Sr. Supimos que en el potrero Nuestra Señora de Lourdes, de D. Antonio García, conocido antes por ingenio Larrazabal, se habían arruinado todas las fábricas. **El deseo de ver y examinar aquellas ruinas, estimulado por el aproximarnos más y más á la costa sur... Las paredes principales de las fábricas del antiguo ingenio Larrazabal están orientadas de NE1/4E á SO1/40 en el mismo sentido aproximadamente en que se verificó la oscilación, de lo cual resultó que las paredes perpendiculares á la dirección de la oscilación: unas se cayeron y otras se desmoronaron y todas perdieron el plomo**"...

Página 13: ... "Lo avanzado de la hora hizo que apresuráramos nuestra vuelta para ver llegar ántes de anochecer al ingenio Flora á donde habíamos sido amistosamente invitados por el Sr. Presidente de la diputación provincial, D. José Rivero. **Este ingenio, que se halla justamente situado entre Candelaria y Manantiales, y no lejos de la falda de las lomas sufrió muy poco con los temblores. En la casa de vivienda vimos solo algunas grietas de poca consideración, la torre de máquina quedó intacta**"...

Luego es entonces factible puntualizar, antes de proseguir, que:

- 1) El epicentro del terremoto principal y las réplicas no se localizan en las inmediaciones del escarpe de falla (entender la falla Pinar) que se evidencia en el sistema montañoso de la Sierra del Rosario.
- 2) Todos los epicentros se localizaron en la llanura del sur (inmediaciones de San Cristóbal – Candelaria) y asocian con una estructura geológica cubierta y desconocida. No le asignaron denominación, pero sí existencia.

Los especialistas en Geología del País que participaron en los trabajos del levantamiento geológico de la provincia Pinar del Río (Academia de Ciencias de Cuba y Polonia, 1978) y en las provincias habaneras (Academia de Ciencias de Cuba, 1981) en el marco de la colaboración internacional con países del campo socialista europeo, no reconocieron la presencia de la falla Guane, pero sí a la falla Pinar. Sin embargo, las opiniones de Buttica (1946a,b) apuntan a la subordinación de la falla Pinar a una estructura tectónica cubierta más al sur, con la que conforma un sistema de fallas profundas en escalón. Esta idea fue desarrollada posteriormente por Álvarez (1981, 1989). Ese especialista la catalogó como un sistema de fallas profundas, activas y de larga evolución, y en consecuencia como el principal de Cuba Occidental. Mientras que en la mapa tectónico de Shein *et al.* (1985), conocido en el País como el mapa de los petroleros, se representó a la falla Guane aunque de una forma muy esquemática. Esta decisión se tomó sobre la base de interpretaciones geofísicas, las cuales no fueron aceptadas por la inmensa mayoría de los geólogos. Esta falla se ubica bajo los muy amplios espesores de sedimentos aluviales de la Llanura del Sur de Pinar del Río y se asume es el eje de la Cuenca de San Diego de los Baños – Los Palacios. Posee una extensión estimada de 110 km y rumbo NE-SO. Se clasifica como de tipo transcortical (que corta a toda la corteza y alcanza el manto).

De otra parte debemos decir que la primera estación sísmica, permanente, en Cuba luego del año 1959 fue ubicada en la localidad montañosa de Soroa en la Sierra del Rosario (Fig. 4.1). Eso obedeció a la creencia general de los especialistas, de la etapa posterior al año 1959, de que fue la falla Pinar la responsable del mencionado terremoto de San Cristóbal. La estación no ha detectado, desde su instalación en el año 1964, eventos sísmicos sobre el trazo de esa falla (Fig. 3.6). Sin embargo, esa estación sí los ha registrado (incluso perceptibles por la población) en la Llanura del Sur. Ahora relacionamos, en la tabla 5.3, algunos de los terremotos perceptibles que asociamos, dada su localización, con la falla Guane, desde su extremo oriental al extremo occidental. También hay dos isosistas del informe de Chuy que podemos asociar, dadas sus localizaciones espaciales y configuraciones, a la falla Guane. Ellas son de los terremotos de intensidad V (MSK), de los días: 11.09.1957 y 11.06.1981.

Cotilla *et al.* (1991b) sostienen que a pesar de ser la falla Pinar una estructura bien representada en el relieve, no alcanza la categoría o nivel de actividad con que otros autores la clasifican. Esto se debe a que, paradójicamente, presenta a lo largo de su traza un conjunto significativo, en número y volumen, de embalses artificiales de agua, así como de centros industriales de explotación y extracción de rocas y minerales, y sin embargo no ha mostrado siquiera un sismo perceptible desde la instalación de la estación sísmica de Soroa, amén de que explícitamente Viñes y Salterain (1880) aseguraron que el foco del fuerte terremoto de 1880 y los de sus réplicas estaban en la llanura del sur.

Tabla 5.3.- Eventos sísmicos que el autor asocia con la falla Guane.

No	Fecha	Intensidad (MSK)	Localidad	No	Fecha	Intensidad (MSK)	Localidad
1	1905.10.12	4	Jaruco	11	1976.03.09	3	Central "José Martí"
2	1953.06.16	5	Tapaste	12	1976.03.10	3	Central "José Martí"
3	1995.03.09	5	San José de las Lajas	13	1976.03.15	3	Central "José Martí"
4	1762.11.13	4	Santiago de las Vegas	14	1988.09	3	Central "José Martí"
5	1880.01.23	8	San Cristóbal	15	1958	?	Hermanos Barcón
6	1880.01.27	4	Rincón	16	1981.06.09	3,5	San Juan y Martínez
7	1886.08.31	4	Ceiba del Agua	17	1981.06.11	5	Alonso de Rojas
8	1921.09.23	4	Caimito del Guayabal	18	1974	?	La Isabel
9	1939.02.15	3	Consolación del Sur	19	1975	4	La Coloma
10	1939.04.20	?	Consolación del Sur	20	1982	3	Las Martinas

El hecho de que una falla oculta (no manifestada en el relieve) sea descartada en investigaciones de peligrosidad sísmica, no resulta ser un hecho nuevo y mucho menos ilógico cuando en las cercanías existe una estructura disyuntiva con buena representación (Johnston, 1989). Esos son los casos de las fallas Guane y Pinar, respectivamente. Así, el mapa sismotectónico de Cuba (Cotilla *et al.*, 1991a) consideró lo anterior y por consiguiente muestra que la falla Guane se extiende desde el SE de la Llanura Aluvial del Sur de Pinar del Río hacia el NE (en dirección a las provincias habaneras), donde intercepta a la falla Habana-Cienfuegos, de dirección NO-SE en las inmediaciones de San José de las Lajas, y que constituye un nudo sismoactivo (ver capítulo 8). Esas fallas están, como toda la región Occidental, en la zona de interior de la placa de Norteamérica. Y como una observación curiosa, señalamos que los epicentros de los terremotos de T-JG y San Cristóbal están aproximadamente en la misma longitud que el de Charleston, aunque en latitudes diferentes.

*...”El termómetro marcaba 84° de Farenheit y el barómetro 30 pulgadas. Tal era el hermoso aspecto de la naturaleza cuando á las ocho y treinta y seis minutos de la mañana se oye de repente un ruido espantoso, que no tiene nombre ni se parece á ninguno de los que antes habíamos oído. No era un trueno profundo como los que generalmente preceden aquí á los temblores; era un quejido de la naturaleza, que parecía oprimida por la mano de Dios y que quería rebelarse contra su Omnipotencia. Milton diría que era parecido al grito que dieron los ángeles rebeldes al verse sumidos para siempre en el abismo. A la vez que mis oídos percibían el cercano bramido de los desencadenados elementos subterráneos, mis piés sintieron un fuerte movimiento de trepidación que levantaba y dejaba caer la ciudad entera, como podría hacerlo un niño con un ligero juguete” ...*

Don Estorch

## 6. Publicaciones y prensa

### Introducción

Las leyendas sobre los terremotos fueron las primeras transmisiones de información al respecto de esos fenómenos naturales. Es en Grecia donde se localiza el primer tratamiento sistemático y no mítico de los terremotos. Sin embargo, las primeras descripciones escritas datan desde hace más de 3.000 años en China. Ellas incluyen datos del año 780 a.C. Udías *et al.* (1985) hace un magistral recorrido sobre estos temas hasta nuestros días.

En este capítulo se presenta la cronología de las principales publicaciones y eventos científicos, así como una descripción de algunos episodios ocurridos en el contexto de la Sismología Cubana.

#### a) Aspectos generales

Los especialistas en Cuba del siglo XIX que deseaban presentar ideas y resultados de tipo sismológico debieron recurrir a editoriales en el extranjero, como Poey. Otros aprovecharon las ediciones de la prensa nacional como Viñes y Salterain. Y algunos, ya en el entorno del año 1930, utilizaron la publicación seriada de la revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros. Destacamos, nuevamente, el hecho de que sin ser un especialista en la temática de Sismología, el escritor y poeta cubano José Martí y Pérez redactó un muy interesante artículo de divulgación científica sobre el terremoto del 01.09.1886 de Charleston, Estados Unidos de Norteamérica (ver capítulo 5). Las reuniones de trabajo de la Real Academia de Ciencias Médicas, Física y Naturales de Cuba permitieron la divulgación de la Ciencia Sismológica. En ella se realizaron alrededor de 10 conferencias. También la participación en eventos y conferencias internacionales en Chile, España, Estados Unidos, Francia y México ayudaron a recoger los resultados de los especialistas en el terreno cubano.

#### b) Documentación

Seguidamente aparecen (Tabla 6.1) los trabajos que recogen aspectos de terremotos ocurridos en Cuba desde 1774 hasta 1968.

Tabla 6.1.- Publicaciones del final del siglo XVIII y mediados del siglo XIX.

AÑO	TÍTULO	LOCALIZACIÓN	AUTORÍA
1774	Sur les Tremblements de Terre de la Jamaïque.	History of Jamaica, Vol. III, 617 p.	Long,L.
1782	Historia Filosófica y Política de los Establecimientos y Comercios de los Europeos en Ambas Indias.	Sevilla	Raynal,A.
1786	Diccionario Geográfico Histórico de las Indias Occidentales o América.	5 Tomos (1786-1789) Madrid. Traducida al inglés por G.A. Thompson, Londres (1812)	Alcedo,A. de
1822	Tableau Chronologique des Tremblements de Terre des Antilles.	Historie Physique des Antilles Francaises, Paris, Tomo I, 110-115	Moreau de Jonnés
1824	Chronology.	Londres, 138 p.	Tegg,Th.
1826	Dates Exactes des Tremblements de Terre des Antilles. Communiquées, en 1826, à l'Académie des Sciences.	Bull. de Férussac, des Sc. Nat., Tomo XVIII, 195 p.	Moreau de Jonnés
1827	Chronological History of the West Indies.	Londres, Vol. II, 552 p.	Southey,Th.
1829	Cuadro Estadístico de la Siempre Fiel Isla de Cuba.	La Habana. (1829 y 1846)	
1843	Note Historique sur les Tremblements de Terre des Antilles.	Compt. Rend. de l'Acad. des Sc. de Paris, Tomo XVI, 1283-1303	Perrey,A.
	Letter concerning the Earthquake in West Indies.	Jameson's Journ., Tomo XXXV, N° 69, 180 p.	Fayers,R.J.
1845	Historia Física Política y Natural de la Isla de Cuba.	Librería de Arthus Bertrand, Paris. 12 tomos. (1845-1846)	Sagra,R. de la

	Sur les Tremblements de Terre aux Antilles.	Mém. de l'Acad. des Sc. de Dijon, 325-392	Perrey,A.
1847	Temporales, Huracanes, Tormentas y Terremotos que ha Habido en Esta Isla de Cuba.	Memoria Sobre los Huracanes en la Isla de Cuba, La Habana, 46-63	Herrera,D.
1852	Apuntes Para la Historia Sobre el Terremoto que Tuvo Lugar en Santiago de Cuba y Otros Puntos el 20 de Agosto de 1852, y Temblores Subsiguientes.	Habana y Santiago de Cuba	Estorch,M.
	Catalogue Chronologique des Secousses de la Terre Ressenties sur la Surface Entière du Globe.	Reports of the British Association, Londres. 1852-1854	Mallet,R.
1853	Tabla Cronológica de los Sucesos Ocurridos en Santiago de Cuba.	Nueva York	Valiente,A.
	Almanack.	Jamaica	Henderson
1854	Geografía de la Isla de Cuba.	Establecimiento Tipográfico de D.M.Soler, Habana. 3 partes	Pichardo,E.
	Geografía de la Isla de Cuba.	La Habana	Torre, J.Mª de la
	Dictionary of Chronology.	Londres, 188 p.	Tegg,W.
1855	Tableau Chronologique des Tremblements de Terre Ressentis a l'île de Cuba de 1551 à 1855.	Nouvelles Annales des Voyages, 6ª serie, Tomo 2, 301 p. de Malte-Brun, Paris	Poey,A.
	Supplément au Tableau Chronologique des Tremblements de Terre Ressentis a l'île de Cuba de 1530 à 1855.	Nouvelles Annales des Voyages, Tomo 4, 286 p. de Malte-Brun, Paris	Poey,A.
1856	Catalogues Annuels des Tremblements de Terre.	Bull. de l'Acad. des Sc. de Belgique, Tomo XXIII, N° 23; Tomo XXIV, N° 1	Perrey,A.
1857	Catalogue Chronologique des Tremblements de Terre Ressentis dan les Indes Occidentales de 1530 à 1857, Accompagné d'une Revue Bibliographique Contenant Tous les Travaux Relative aux Tremblements de Terre des Antilles.	Annuaire de la Societé Météorologique de France, Tomo 5, Parte 2, 75-127 p. y 227-253 p., Paris	Poey,A.
1863	Diccionario Geográfico, Estadístico e Histórico de la Isla de Cuba.	Tomos I, II y III. Ed. Imprenta del Establecimiento de Mellado, Madrid	Pezuela,J. de la
1866	Diccionario Geográfico, Estadístico e Histórico de la Isla de Cuba.	Tomo IV. Ed. Imprenta del Banco Industrial y Mercantil, Madrid	Pezuela,J. de la
1878	Calendario Histórico de Santiago de Cuba.	Santiago de Cuba	Bottino,L.C.
1880	Excursión a Vuelta Abajo de Viñes y Salterain en Ocasión de los Fuertes Temblores de Tierra Ocurridos en la Noche del 22 al 23 de Enero de 1880.	Ediciones "La Voz de Cuba", La Habana, 68 p.	Viñes, B. y Salterain,P.
	Notices of Recent American Earthquakes.	American Journal of Science, vol. XIX, N° 109:295-299	Rockwood, C.G.
1884	Ligera Reseña de los Temblores de Tierra Ocurridos en la Isla de Cuba.	Anales de la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana, 21, 203-218	Salterain y Legarra,P.
1886	Colección de Artículos Sobre los Terremotos de la Isla de Cuba.	Madrid	Viñes,B.
1894	La Península Ibérica Sísmica y sus Colonias.	Anales de la Soc. Española de Historia Natural, vol. 23, serie 2, tomo 3, 175-184. Madrid	Montessus de Ballore,F.
1904	Apuntes Históricos Acerca del Observatorio del Colegio de Belén de La Habana.	El Avisador Comercial, La Habana	Gutiérrez-Lanza,M.
1914	Conferencias de Seismología, Pronunciadas en la Real Academia de Ciencias de La Habana.	Imprenta y Librería de Lloredo y Cña., La Habana, p.178	Gutiérrez-Lanza,M.
1917	Sismología de la Región Oriental de la República de Cuba. El Macrosismo del 27 de Febrero de 1914.	Memorias de la Sociedad de Historia Natural "Felipe Poey", vol. II, 1916-1917	Jover,J.
	Al Margen de un Trabajo Sismológico del Dr. Jover.	Memorias de la Sociedad Cubana de Natural "Felipe Poey", vol. II, 1916-1917	Pastor,A.
1925	Crónicas de Santiago de Cuba.	Reimpresión en Santiago de Cuba	Bacardí,E.
1931	Los Terremotos de Cuba.	Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros, vol. XXIII, No. 5, 264-308. La Habana	Morales,L.
	Sismología de Cuba. Informe Para el Censo de la República de Cuba de 1931.	Actas de la Oficina de Gobierno, Cuba	Montouliou,E.
1932	Sismología Mundial en 1931 y Notas Sobre el Terremoto de Santiago de Cuba de Febrero 3 de 1932.	Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros, vol. XXIV, No. 3, La Habana	Montouliou,E.
1933	Informe de la Comisión Nombrada para el Estudio del Terremoto de Santiago de Cuba de Febrero de 1932.	Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros, vol. XXV, No. 1, 1-79 p., La Habana	Montouliou,E.
	El Terremoto de Santiago de Cuba de 3 de Febrero de 1932.	Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros, vol. XXV, No. 2, 123-166 p., La Habana	Morales y Pedroso,L.
	El Megasismo de Santiago de Cuba, de 3 de Febrero de 1932 a la Luz de la Sismología Moderna.	Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros, vol. XX, No. 4, La Habana	Montouliou,E.
1934	Panorama Histórico, Ensayo de una Cronología Cubana Desde 1492 hasta 1933.	La Habana	Castellanos,G.
1935	Importancia de Geología Aplicada a la Economía.	Actas de la Real Academia de Ciencias, Física, Médicas y Naturales de La Habana	Montouliou,E.
1939	Aspecto Geográfico del Macrosismo Sentido el 15 de Agosto de 1939 en la Región Central de Cuba.	Revista de la Sociedad Geográfica de Cuba, Año XX, Nos. 1-2, La Habana	Montouliou,E.
1948	Meteorología Histórica Cubana.	Caibarién	Martínez-

			Fortún,J.A.
1949	Datos Sobre Sismos Perceptibles en la Provincia Santiago de Cuba. (Inédito).	Archivo del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba	Viñas,B.
1958	Temblores y Terremotos.	Santiago de Cuba	Cruz,C.
1968	Notas y Apuntes Acerca de Terremotos Ocurridos en Cuba. (Inédito.)	Archivo del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba	Montouliou,E.

A partir del año 1962 las publicaciones se circunscribieron, casi en su totalidad, al área de países socialistas [como: *Fizika Zemli*, de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S.; y *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, de la Academia de Ciencias de la República Democrática Alemana]. En el año 1980 se comienza a editar una revista cubana (en idioma español) de contenido sismológico, Investigaciones Sismológicas en Cuba. Ella tuvo una edición de 5 números (1980-1985) con un total de 23 artículos. Posteriormente, salió a la luz la serie Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía (1987-1991). Estos esfuerzos literarios del Instituto de Geofísica y Astronomía permitieron dar una cierta divulgación, en el marco latinoamericano, a los resultados obtenidos. Sin embargo, la inmensa mayoría de los datos e investigaciones se recogían en informes internos que se desconocen en la misma Cuba (ver Referencias Específicas). En la tabla 6.2 se relacionan los medios cubanos donde se ha publicado con anterioridad al año 1995. Mientras que en la tabla 6.3 están las revistas donde se ha publicado con posterioridad al año 1995.

Tabla 6.2.- Medios gráficos cubanos que recogen trabajos del período 1970-1995.

Nº	Título
1	Atlas Nacional de Cuba
2	Atlas de Camagüey
3	Atlas de Santiago de Cuba
4	Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio
5	Revista Comunicaciones sobre Geofísica y Astronomía
6	Revista Estudios de Comunicación
7	Revista Informática y Geociencias
8	Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba
9	Revista Minería y Geología
10	Nuevo Atlas de Cuba
11	Revista Reconocimiento de Elementos de Estructuras Espaciales
12	Revista Reportes de Investigación

Tabla 6.3.- Revistas que contienen trabajos posteriores al año 1995.

Nº	Título	País	Año
1	Revista Historia de América	Perú-México	1995, 1999
2	Revista Geológica Colombiana	Colombia	1997, 1998
3	GEOS	México	1998
4	Física de la Tierra	España	1998
5	Revista de la Sociedad Geológica de España	España	1998
6	Journal of Seismology	Holanda	1998, 2002
7	Boletín Geológico y Minero de España	España	1999
8	Anales de Geografía	España	1999
9	Estudios Geológicos de España	España	1999
10	The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics	Italia	1999
11	Revista Geofísica	Perú-México	2000, 2003
12	Revista Geológica de Chile	Chile	2001
13	Geophysics Journal International	Reino Unido	2002
14	Pure and Applied Geophysics	Alemania	2002
15	Geografía Física e Dinámica Cuaternaria	Italia	2003
16	Geofísica Internacional	México	2003

17	Geografía	Perú-México	2003
----	-----------	-------------	------

Un marco muy propicio para la divulgación internacional, al menos en el campo sismológico, se fijó a finales de la década del 80 (del siglo XX) con el Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Esta obra fue gracias a la cooperación española, en particular del Instituto Geográfico Nacional. Sin embargo, dificultades subjetivas esgrimidas por la parte cubana, que no mencionaremos, limitaron su alcance y distribución. Otro aspecto de innegable importancia para la divulgación nacional de la Sismología lo constituyeron las 5 jornadas científicas realizadas (1981-1989) en el Instituto de Geofísica y Astronomía. Esto conllevó un gran esfuerzo económico. También con la participación en otros eventos científicos nacionales e internacionales se recogen las presentaciones en los libros de resúmenes (Tabla 6.4) (Fig. 6.1).

Tabla 6.4.- Eventos científicos donde se han presentado resultados sismológicos.

Nº	Título	País	Año
1	III Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía	Cuba	1981
2	3era Conferencia Científica del Instituto Superior Politécnico "J.A.Echeverría" ISPJAE	Cuba	1983
3	2da Jornada Científica de Geodesia y Cartografía	Cuba	1984
4	1ª Jornada Científico - Técnica de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, Ministerio de la Construcción de Cuba	Cuba	1985
5	3 <sup>rd</sup> International Symposium on the Analysis Risk	Checoslovaquia	1985
6	IV Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía	Cuba	1985
7	Seminario Internacional (ONU) de Geología, Tectónica y Movimientos Recientes en la Plataforma	Alemania	1986
8	Seminario Internacional de Estudio de las Glaciaciones Cuaternarias en Europa	Alemania	1986
9	Primer Congreso Cubano de Geología	Cuba	
10	Primer Congreso Internacional Sobre Desastres Naturales	Cuba	1987
11	II Congreso Internacional Sobre Desastres	Cuba	1989
12	V Congreso Cubano de Geología y Minería	Cuba	1989
13	V Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía	Cuba	1989
14	Fourth International Symposium, Analysis of Seismicity and Seismic Risk	Checoslovaquia	1989
15	I Congreso Internacional de Geología	Cuba	1989
16	Ier Coloquio Nacional de Computación Aplicada	Cuba	1989
17	I Simposio Acerca del Desarrollo de la Matemática	Cuba	1989
18	Symposium (UNO) Deformation Process and the Structure of the Lithosphere	Alemania	1990
19	II Congreso de Ciencias del Mar	Cuba	1990
20	Segundo Encuentro Nacional de Ingenieros Geofisicos MICONS	Cuba	1991
21	Segundo Taller Iberoamericano de Informática y Geociencias	Cuba	1994
22	Primer Congreso Nacional de Historia de la Ciencia y la Técnica	Cuba	1994
23	II Congreso Cubano de Geología y Minería	Cuba	1994
24	I Conferencia Técnica de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas MICONS	Cuba	1995
25	IV Simposio Internacional de Comunicación Social	Cuba	1995
26	Regional Conference of Latin-American and Caribbean Countries. Internationsl Geographical Union	Cuba	1995
27	I United Nations Workshop on Space Technology for Health Care and Environmental Monitoring in Developing World	Noruega	1995
28	46th Congress of International Astronautical Federation	Noruega	1995
29	II Conferencia Técnica de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas	Cuba	1995
30	I Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica	España	1998

31	Jornadas Científicas “100 Años de Observaciones Sismológicas en San Fernando 1898-1998”	España	1998
32	Reunión Anual 1998 de la Unión Geofísica Mexicana	México	1998
33	Workshop to exchange research information in the international scientific research project: “Joint studies on seismic microzonation in earthquake countries”	Japón	1998
34	II Asamblea Hispano – Portuguesa de Geodesia y Geofísica	Portugal	2000
35	III Asamblea Hispano – Portuguesa de Geodesia y Geofísica	España	2002

Es destacable que el Instituto de Geofísica y Astronomía posee una página *web* (<http://www.iga.cu>) y ha retomado, desde el año 2001, la publicación seriada y periódica *Ciencias de la Tierra y del Espacio* (ISSN 1729-3790). Mientras que en la página *web* del Instituto de Meteorología de Cuba aparece una relación de los eventos naturales que más daños han causado a Cuba, principalmente ciclones ([http://www.met.inf.cu/sometcuba/boletin/506\\_n01/english/history\\_3.htm](http://www.met.inf.cu/sometcuba/boletin/506_n01/english/history_3.htm)). Pero entre esos desastres está el terremoto del 03.02.1932 de Santiago de Cuba (que produjo, según esa fuente: 13 muertos y 200 heridos, 80% de las edificaciones afectadas y 120 réplicas registradas), dato que es erróneo (Cotilla y Udías, 2000).

La prensa internacional escrita fue la que primero recogió información sobre algunos eventos sísmicos fuertes en Cuba. Así se puede ver en la tabla 6.5. Con posterioridad la prensa escrita cubana (Fig. 6.2) se hizo eco de algunos de los eventos sísmicos como se indica en la tabla 6.6.

Tabla 6.5.- Relación de algunos de los medios en los que han aparecido datos de terremotos de Cuba.

Nº	País	Título
1	Alemania	Allgemeine Zeitung
2	Bélgica	Mercure Historie et Politique; Moniteur Belge; L'Independence Belge; L'Emancipation Belge; Jour. des Débats
3	España	Diario Noticioso; El Imparcial; ABC
4	Estados Unidos de Norteamérica	Boston Traveller; New York's Herald; Washington's Dayly National Intelligencer
5	Francia	Gazette de France; Moniteur et Constitutionel; Jour. des Débats
6	Reino Unido	Gentlements Magazine

Tabla 6.6.- Relación de algunos de medios de prensa escrita que han recogido datos de terremotos de Cuba.

Nº	Localidad	Título	Año
1	La Habana	Faro Industrial	1842
		Diario de La Habana	1853
		El Triunfo	1880
		La Voz de Cuba	1880
		La Discusión	1880, 1914
		El Diario de la Marina	1880, 1914, 1932, 1939, 1947
		La Lucha	1907, 1916
		El Herald de Cuba	1914
		El Mundo	1927, 1932, 1947
		Revista Bohemia	1947
Prensa Libre	1954		
2	Matanzas	Diario de Matanzas	1880
3	Cienfuegos	El Diario de Cienfuegos	1880
		La Correspondencia	1939, 1943, 1949
		El Comercio	1939, 1943, 1949
4	Trinidad	El Correo	1849

5	Remedios	El Remediano El Faro	1896 1939
6	Camagüey	El Camagüeyano	1932, 1947
7	Gibara	Tradiciones Gibareñas	1953
8	Sagua de Tánamo	El Tanameño	1914, 1920, 1921, 1928, 1944
9	Santiago de Cuba	El Magazine: Las Noticias La Voz del Pueblo	1932 1947
10	Pilón	Granma	1976
11	Matanzas	Granma	1982

### c) Apreciaciones específicas sobre la información de la prensa y las publicaciones

Resulta habitual localizar en textos cubanos diversos que resaltan la labor científica de la Isla en los últimos 30 años como rebajan u ocultan, de forma mal intencionada, según el autor, resultados de especialistas de otras épocas precedentes. Por ello, como demostración de que la ciencia funcionaba en Cuba antes de la década de 1960 está el siguiente párrafo del Sr. Morales y Pedroso, 1931: ...*“Las condiciones geológicas de Santiago en el centro de un valle de hundimiento inmediato a un mar profundo...Tiene este Valle de Santiago unos 12 km de profundidad desde la costa, de Norte a Sur, por unos 30 km de largo de Este a Oeste a lo largo de la costa, y en el centro de él aproximadamente están la bahía y la ciudad de Santiago...Este suelo de Santiago así constituido es según todas las autoridades en sismología el suelo sísmico por excelencia...(los suelos tobaceos y arenosos, tan poco resistentes, así como los depósitos fluviales y conos de aluvión, son peligrosísimos para los terremotos. En aquellos sitios donde materiales incoherentes descansan en delgada capa sobre una base rocosa, los efectos de los terremotos se dejan sentir con mayor viveza, porque las masas elásticas se ajustan como la arena en el conocido experimento de las placas vibratorias. Según la experiencia, los efectos de los terremotos no se manifiestan con tanta intensidad en las alturas de roca como en el fondo del valle cubierto de aluvión)”*...

Otro ejemplo que demuestra la distorsión de la información en Cuba [por diversas causas, que no se analizarán] se puede encontrar en la incorrecta, quizás intencionada, utilización del “Diario de Navegación” del Almirante Cristóbal Colón (Instituto Gallach, 1992). Así es frecuente la cita del *Domingo, 28 de octubre.- ...”Nunca tan hermosa cosa vido, lleno de árboles todo cercado el río, hermosos y verdes y diversos de los nuestros, con flores y con su fruto cada uno de su manera”*... [Se refiere a Cuba]. Sin embargo, no se utiliza esta segunda exposición que matiza a la primera: *Lunes, 24 de diciembre.- ... “porque yo he hablado en superlativo grado de la gente y la tierra de la Juana, a que ellos llaman Cuba, mas hay tanta diferencia de ellos y de ella a ésta en todo como del día a la noche, ni creo que otro ninguno, que esto hubiese hecho ni dijese menos de lo que yo tengo dicho; y digo que es verdad que es maravilla las cosas de acá y los pueblos grandes de esta isla Española, que así la llamé, y ellos le llaman Bohío [la actual República Dominicana], y todos de muy singularísimo trato amistoso y habla dulce, no como los otros, que parece cuando hablan que amenazan”*... Esto se demuestra con la vida misma; ya que fue Santo Domingo [Bohío o La Española] donde se establece la colonia española y no es hasta 1511 [19 años después] que el Capitán Diego Velázquez ocupa Baracoa [en el Noreste de Cuba].

Sabemos que es necesario establecer una línea de marcación temporal para “deslindar” los informes [o noticias] que sobre algún acontecimiento sísmico fueron indicados, para

Cuba, por alguna persona. Además, es necesario considerar el aspecto, por demás esencial, de la presencia temporal de la persona en el lugar donde aconteció el terremoto. Esto último es fundamental. La formación del individuo que describe el acontecimiento. Al respecto, Gutiérrez-Lanza (1914) y Montouliou (1933) dedicaron no poco espacio en sus trabajos. Sirva en este sentido la siguiente frase de Montouliou (1933): ...“*Nuestra experiencia en el terremoto de 3 de Febrero de 1932 nos ha convencido de la circunstancia de que carecemos en lo absoluto de observadores experimentados, lo que después de todo es natural, aún en las clases más preparadas*”. Seguidamente expone un ejemplo: “*La prensa del día 3 de Febrero publicó la ocurrencia de grandes grietas en el Pico Turquino y en distintos lugares cercanos a Santiago de Cuba, como en el Caney, Aguadores, etc. Pero ninguno de estos accidentes fué comprobado por los que nos dedicamos a investigar y estudiar los efectos del sismo*” (Fig. 6.3).

Ahora se presentan algunas notas textuales por orden cronológico, previa selección del autor, de distintas fuentes que reseñan los terremotos de Cuba y en particular el del año 1766. Estas notas prueban, irrefutablemente, la transmisión distorsionada de la información sobre los terremotos hasta fecha reciente.

Esteban Pichardo (1854) ...”*Mi familia materna residía en Santiago de Cuba cuando sucedió el memorable temblor de tierra de 1766: víctima mi bisabuelo el Rejidor Sabiñon y herida mi madre en la frente siendo niña [da información de fallecido y víctima herida]... el resto con ella abandonó su país y se refugió al mas próximo de Sto.-Domingo...Ese Terremoto fué el mas espantoso del siglo pasado: he leído una descripción poética, que si el vate no abusa de sus licencias hiperbólicas, debió ser mayor en todos sentidos que el ponderado del año antepasado. Son también notables los de 1826 y 1842 [no indica día ni mes] con algunos otros anteriores, y todo esto solo en la ciudad de Santiago de Cuba; pues aunque los temblores se extienden en la parte Oriental hasta los meridianos inclusivos de Bayamo, Holguín y Manzanillo, ni son tan fuertes ni tan repetidos: las vibraciones de las grandes conmociones subterráneas de Cuba [se refiere a Santiago de Cuba] alcanzan mas ó menos extensión según su mayor ó menor violencia y mas de una vez han llegado á los meridianos de Pt.-Príncipe [actual Camagüey] débilmente; pero cuando no tiembla en Cuba [Santiago de Cuba] tampoco en Bayamo ni en ninguna otra parte. Esto hace presumir la existencia del foco en Cuba [Santiago de Cuba]...En el resto de la Isla para el poniente no tiembla la tierra: casos rarísimos se recuerdan, apenas sensibles, en tal ó cual punto: dicese que uno fue en la Habana el 7 de Julio de 1777, que duró dos minutos. Los periódicos refirieron otro sentido por algunas personas en la propia capital el 7 de Julio de 1852 entre 6 y ½ y 7 de la mañana, en Matanzas y en Sagua-la Grande, donde los dos ó tres sacudimientos fueron bien manifiestos hasta la boca del río...Puede, en fin asegurarse que fue general en la Isla, único ejemplar de que se haga memoria, y sin embargo en ninguna parte pudo clasificarse de consideración, si bien fue el precursor del espantoso acaecido en Santiago de Cuba el 20 de agosto del mismo año 52, repetido el 26 de noviembre...El Sr. Barón de Humbolt dice que los Terremotos son menos funestos en Cuba que en Puerto-Rico y Haití. Esto ha ocasionado el error de sus copiantes [que no solo sucedió en ese siglo sino también con posterioridad], sustituyendo el adjetivo frecuentes al de funestos de S. Excia. y ampliándole en términos de sentar que en Cuba son menos frecuentes que en las demas Antillas. En Santiago de Cuba son tanto y mas frecuentes que en muchas de las Antillas inclusas Haití y Puerto-Rico y aunque rara vez funestos como en estas Mayores y las Menores volcánicas, los edificios sufren bastante, no solo*

*por la repetición de los sacudimientos, sino por la costumbre errónea de fabricar con esos horcones, que pegados á la mampostería de las paredes, precisamente contribuyen á desplomarlas al transmitir el movimiento de la tierra, por falta de unidad entre dos cuerpos heterojéneos en calidad y colocación; aunque ciertamente aseguran el techo: las casas bien edificadas con gruesas paredes de ladrillo, sin horcones como la de D. Juan de Mata Texada y otras, no experimentan daño alguno [primera evaluación estructural].*

*Testigo presencial por varios años de los temblores en Cuba, he pasado á los principios mas sustos de lo que mercian; pues regularmente son lijeros y casi insensibles: los Cubanos, avezados ya á tales sucesos, perciben el movimiento mas leve, no conocido de los extraños...de repente un ruido sordo, seguido del traqueteo de las aldabas y de las piezas colgantes, anuncian el Terremoto [característica dominante de los terremotos fuertes de Cuba]: las mulas ó caballos de los carruajes se abren de piernas; las gentes al grito de “¡Misericordia!!” se lanzan á los patios y á las calles, buscando las plazas y lugares descampados: si á media noche, con los vestidos del momento ó con una sabana hombres y mujeres se hacen públicos en aquellas reuniones...las imprudencias de arrojarse á escape, ó saltando escalones, ó arrimandose á edificios viejos y ruinosos, han causado dislocaciones de miembros y otras desgracias; pero el colmo de la indiscrecion es cuando repitiendo de noche con fuerza, se apiñan miles de personas por las calles en la procesión de S.Emigdio, estrechándose de una á otra tapia de varias acaeras, esponiendose á ser oprimidos por el derrumbamiento de cualquiera casa”...*

Jacobo de la Pezuela (1863) ...”En la época de Bucarelli (Mariscal de Campo y luego Tte. General Don Antonio María Bucarelli, bailío de la órden de San Juan; desde 19 de mayo de 1766 hasta 14 de agosto de 1771) ocurrieron dos desastres tan lastimosos como inevitables, que se esforzó con su humanidad y su eficacia a reparar á pesar de su pobreza de recursos: los violentos terremotos que sufrió Santiago de Cuba en junio y agosto de 1766... Desde 1551 quedó Santiago reducido á un exiguo número de pobladores”... [observación de gran importancia, ya que indica la emigración hacia zonas más desarrolladas y favorables] ...”Casi todo el territorio de Santiago y Bayamo [dos localidades distantes 120 km, aproximadamente] á las horas de mayor reposo, antes de amanecer el 12 de junio de 1766, se conmovió con un horrible terremoto que destruyó a la mayor parte de los edificios, inmolando a muchas víctimas en el primero de ambos pueblos [indica que es en Santiago donde murió gente]...Cierto es que repetidos terremotos volvieron en agosto de 1852 [20.08.1852] á consternarla desmoronando edificios y causando víctimas. Pero la reparación de sus estragos no se hizo esta vez esperar tanto como cuando 1766 había sufrido igual catástrofe. De pobre que era entonces la isla, se había convertido en opulenta [mayor población y cantidad de edificaciones, pero es posible que el evento fuese de menor fuerza]...porque sobrevino en la mañana del 11 de febrero de 1678 un formidable terremoto que desmoronó la capilla mayor y parte de las demás obras [denominado como “El Gran Terremoto”]...Pero no es pueblo Santiago que pueda conservar edificios duraderos y monumentales con los sacudimientos á que su suelo una ó dos veces en cada siglo está sujeto [primera estimación de repetibilidad de terremotos fuertes y mención de otros anteriores]. En los días 11 y 12 de junio de 1766 un terremoto derribó la mayor parte de la catedral y gran parte de sus edificios, arruinando otra vez la capilla mayor de la catedral y gran parte de los lienzos...Reforzando este edificio con cuantas precauciones podía suplirle el arte para defenderlo de la furia de los sacudimientos, no pudo sin embargo resistir completamente al que desmoronó una gran parte de la población en el

20 y último días de agosto de 1852. Resquebrajándose entonces sus naves extremas y los cuatro arcos que sostienen la media naranja. La pared maestra de Poniente quedó rajada en casi toda su longitud como á una altura de 6 piés sobre el suelo; y se desplomó una parte de la torre del reloj: Todas estas averías se remediaron prontamente...Iglesia de Nuestra Señora de los Dolores fundada en 1723 sólo indica afectaciones en 1852...Iglesia de San Juan de Dios es una edificación de sencillísima arquitectura y poca elevación, con una sola nave...fundada en 1739 no reporta daños...Iglesia de Santa Lucía fundada a fines del siglo XVII afectada en 1852...Iglesia Santísima Trinidad fundada a fines del siglo XVII afectada en 1852...Iglesia Santo Tomás Apóstol declarada parroquia auxiliar de la del Sagrario de la Catedral en 1726 solo poco afectada en 1852...su sencilla y sólida arquitectura ha resistido á frecuentes sacudimientos del solar que ocupa, y mejor que ningun otro templo de la población á los terribles terremotos de agosto de 1852"... [No da información del número de fallecidos ni de víctimas en general, pero sí indica algunas observaciones interesantes de afectaciones estructurales a las iglesias].

Pedro Salterain y Legarra (1884): ...”Si en la isla de Cuba quisiéramos establecer algo sintético, referente á los terremotos, sería punto menos que imposible, pues desgraciadamente se tienen escasas noticias acerca de los temblores de tierra ocurridos en Santiago de Cuba [aclara la realidad], y menos de los del departamento occidental; tampoco sería propio de este escrito señalar y describir todos los últimamente observados, como ya se ha hecho en otro trabajo [Poey, 1855-1857]: el único objeto del presente es reseñar ligeramente los principales movimientos sísmicos acaecidos en la isla...En el año 1766, el miércoles 11 del mes de junio, á las 11 y  $\frac{3}{4}$  de la noche [conllevó a errores posteriores], hubo en esta ciudad un terremoto tan horroroso que duró su impulso más de un minuto; siendo su trepidación tan tremenda y extraña como jamás otro igual no ha sido visto en el mundo [no merece comentario]. Este dicho terremoto arruinó y casi dejó en tierra toda la población; en el resto de la noche habría como unos 30 temblores más, pero pequeños y de poca trepidación, á excepción de uno que se sintió á eso de las cuatro de la mañana, ya el día 12 de dicho mes de junio, que fué muy fuerte y se creyó que acababa enteramente con la ciudad; este dicho temblor derribó lo que otros habían dejado cuarteado y removido, y fueron muchos los que entre las ruinas murieron... todas las iglesias, las que no se derribaron, amenazaban ruina y se miraba su entrada con horror. El templo de Nuestra Señora del Carmen que era nuevo y, ya acabado, se preparaba para su estreno para el día 16 de Julio del mismo año ya dicho de 1766, fué más arruinado que otro alguno, de suerte que no admitió reparo y quedó cerrado para en lo adelante. La iglesia de Nuestro Padre San Francisco [imprecisión que transmitió a sus copiantes] también se arruinó enteramente, é incontinentemente se hizo otra nueva. El castillo de esta ciudad y el Castillo del Morro y las cárceles quedaron como inservibles y casi perdidos, y lo mismo aconteció con Santa Lucía y el Hospital y Dolores y la capilla mayor de la iglesia catedral; de suerte que no había edificio, que reducido que fuera, que no estuviera cuarteado y en tan mal estado, que todos amenazaban ruina y era peligroso acercarse a ellos” ...[muy general la descripción].

Ese autor cita, explícitamente, al Sr. Storch [en ocasiones otros autores le citan como Sr. Estorch] para ilustrar los efectos producidos por el terremoto del 20.08.1852...”La aurora del 20 de Agosto fué para los habitantes de Santiago de Cuba y sus alrededores una de las más bellas que presentan los trópicos; no soplaban el molesto NE, sino grato el terral; la atmósfera, lejos estar cargada, era pura; el sol brillaba cual nunca, sin ser

*harto molesta la influencia de sus rayos; tampoco existía señal alguna de las que suponen variaciones en la atmósfera.*

*El termómetro marcaba 84° de Farenheit y el barómetro 30 pulgadas. Tal era el hermoso aspecto de la naturaleza cuando á las ocho y treinta y seis minutos de la mañana se oye de repente un ruido espantoso, que no tiene nombre ni se parece á ninguno de los que antes habíamos oído. No era un trueno profundo como los que generalmente preceden aquí á los temblores; era un quejido de la naturaleza, que parecía oprimida por la mano de Dios y que quería rebelarse contra su Omnipresencia. Milton diría que era parecido al grito que dieron los ángeles rebeldes al verse sumidos para siempre en el abismo. A la vez que mis oídos percibían el cercano bramido de los desencadenados elementos subterráneos, mis piés sintieron un fuerte movimiento de trepidación que levantaba y dejaba caer la ciudad entera, como podría hacerlo un niño con un ligero juguete”... [No da información del número de fallecidos ni de víctimas en general, pero sirve para demostrar lo expresado en el primer epígrafe del trabajo].*

Luis Morales y Pedroso (1931):...”11 de Junio de 1766: A media noche. Violenta sacudida de 7 minutos de duración que derribó multitud de edificios; siguiéndole aquella noche otras treinta sacudidas ligeras, y a las 4 de la madrugada otra muy fuerte. Las sacudidas continuaron hasta el 1ro de Agosto”... [citando a Andrés Poey].

“Miércoles 11 de junio a las 11 h y 45 m de la noche. Duró más de un minuto. Calificado de horroroso. Arruinó y dejó por tierra casi toda la población”... [citando a Rodríguez Ferrer].

...”20 de Agosto de 1852: 8 h 30 m a.m. Se sintió en toda la isla. Primera sacudida de extrema violencia seguida de otras menos intensa. Otras sacudidas fuertes a las tres y media p.m., cinco y veinte p.m. y nueve p.m...Las sacudidas continuaron durante toda la madrugada del 21, a las 3 a.m. y a las 5 a.m. hubo dos sacudidas muy violentas, produciéndose una profunda oscuridad después de la última siguió el tiempo cubierto y lluvioso...Las sacudidas continuaron hasta la mañana del 22 de media en media hora. A las 12 y 25 minutos del mediodía del 22 una fuerte sacudida se dejó sentir en toda la isla, otras a las 4 h y 50 m p.m. y a las 9 horas y 45 minutos p.m. Las pérdidas se estimaron en dos millones de pesos. La Sierra Maestra al ENE de la ciudad sufrió tales sacudidas que los sólidos y bajos barracones de la finca “La Merced” cayeron derrumbados. La dirección del movimiento fue NE a SO”... [citando a Andrés Poey]

...”20 de Agosto – 8:30 a.m. Fuerte terremoto. Hubo 9 temblores hasta las 2 de la madrugada, continuando los temblores hasta el día 25.- Ocurriendo otro tan fuerte como el primero del día 31, siguiendole fuertes aguaceros y vientos huracanados. Los habitantes de la ciudad huyeron a los campos o a los buques anclados en la bahía. Hubo desperfectos de importancia en 672 edificios particulares y quedaron en estado de ruina la Catedral, las iglesias de Dolores, Trinidad, San Francisco, el Carmen, Santa Lucía, Santa Ana, Belén, La Casa de Gobierno, casa Arzobispal, Seminario, Intendencia, Aduana, Hospital y Teatro. La Reina Isabel donó \$100.000 y de la Habana enviaron 50 presidiarios y \$50.000 para ayudar a los damnificados y en las reparaciones”... [citando a Emilio Bacardí].

Tomás Chuy con otros colegas ha preparado a partir fundamentalmente de los trabajos de Poey, Salterain, Montoulieu y Bacardí y de la prensa varios catálogos para distintas partes de Cuba. En particular, el catálogo de Chuy y Pino (1982) dedicado a Santiago de Cuba tiene un total de 584 terremotos y abarca el período 1551-1975. De éste se ha tomado textualmente del terremoto del 11 de junio de 1766: “Santiago de Cuba (IX grados MSK). Terremoto muy fuerte. Hora: 23:45. Destruyó la mayoría de las

*edificaciones, entre ellas, la Capilla Mayor de la Catedral, convento de San Francisco, el Hospital, los muros construidos para el Palacio Real, Audiencia y Sala de Justicia, además de las iglesias de Dolores, Santa Lucía y El Carmen entre otras. Hubo 120 muertos y más de 600 heridos. Hubo muchas réplicas, fundamentalmente en las 48 horas siguientes, entre ellas el día 12 a las 04:00 que también produjo daños. Se reporta sentido además en Bayamo (VII), Holguín (V-VI) y el Cobre (VI-VII). Otros estremecimientos se reportan también en Sancti Spiritus y La Habana.”*

José A. Zapata y Tomás Chuy (1992) presentaron para Santiago de Cuba los siguientes datos del terremoto del 11 de junio de 1766: “12.06.1766, hora de origen 05:14 UT, (19,90°) L.N. y (-76,10°) L.O.,  $h=(30\text{ km})$ ,  $M_s=(7,5)$  e  $I_o\text{ (MSK)}=IX$ ”. Observe que el tiempo de origen es diferente del presentado por Chuy y Pino (1982), con independencia del sistema horario utilizado, y las coordenadas indican que el epicentro está cerca de la costa. En Álvarez *et al.* (1990, 1993) se reproduce, en líneas generales, la información de Chuy respecto del terremoto de 1766.

Tomás Chuy (1999), en: a) el Anexo 12 plantea: “1766.06.12 a las 05:14 UT con  $I_{max}= 9,0$  en Santiago de Cuba. Terremoto muy fuerte. Destruyó la mayoría de las edificaciones de la ciudad entre ellas la capilla mayor de la Catedral, el Convento de San Francisco, el Hospital, los muros construidos para el Palacio Real, la Audiencia y Sala de Justicia; además de las Iglesias de Dolores, Santa Lucía y El Carmen, entre otras edificaciones. Produjo 120 muertos y más de 600 heridos. Tuvo muchas réplicas, fundamentalmente en las 48 horas siguientes. Se reportó perceptible hasta Ciudad Habana y la vecina Isla de Jamaica.” Esos son los mismos argumentos de Zapata y Chuy (1992); b) y en la tabla 2.11 escribe: “Terremoto fuerte en Santiago de Cuba 1766.06.12, hora 05:14, Lat.  $N=(19,80)$  y Lon.  $W= 76,10$ ,  $M_s=(7,6)$ ,  $H\text{ (km)}=(35)$ , e  $I\text{ (MSK)}= 9,0$ .” En esta oportunidad ese autor cambia la latitud, la profundidad y la magnitud con relación a la publicación del año 1992. Sin embargo, no comenta ningún nuevo dato o argumento que le permita tal modificación.

Acceder al Archivo de Indias (Fig. 6.4) [Sevilla, España] permitió, por primera vez, alcanzar la fuente original de la información que sobre terremotos de América se tiene compilada desde el siglo XV (Cotilla y Udías, 2000). Seguidamente se da un extracto de los 20 documentos, originales, localizados relativos al terremoto del 11 de junio de 1766 en Santiago de Cuba:

#### -Correspondencia de los Capitanes Generales de Cuba con el Gobernador (1766-1770)

1] Cuba, 14 de junio de 1766 [Santiago de Cuba]

*Carta del Marqués de Casa Cagigal al Capitán General*

“Muy Sr. mío: El día 11 del corriente a las 12 de la noche [día y hora], cuando los más habitantes de esta ciudad yacían dormidos en sus casas, levantó Dios el brazo de su justicia con un terremoto tan disforme que a medio cuarto de hora [“tiempo” de duración] no había ya edificio bien parado. Todos hubieran sido muertos bajo sus ruinas sino hubieran sido preservados con una especial providencia de su misericordia [premonitores]...Hasta ahora, por lo que se ha podido reconocer no habrá pasado de 40 el número de fallecidos... Las casas que no están por los suelos es menester derribarlas, porque bajo las ruinas que amenazan no perezca el resto del pueblo. Algunos de él se han retirado a los campos [El Caney], y la mayor parte habita en las plazas, en unas mal formadas barracas que la necesidad me ha hecho construir inmediatamente de velas de embarcaciones. En una de este jaez, habita en

las plazas la Soberana Majestad de Dios Sacramentado. En el castillo de San Francisco cayeron los cuarteles de la tropa, y sin embargo de cogerla debajo, no hicieron otro daño que matar a 3 hombres y herir a 20. Del Morro, avisa su comandante, que lo han abandonado y retirádose a las fortificaciones exteriores, porque lo que no se ha desgajado a pedazos amenaza entera ruina. La misma fortuna han tenido los fuertes y cuarteles de la costa de Barlovento y Sotavento La Socapa, Mar Verde, Cabañas, Aguadores, Chivirico y Baiquirí. El hospital ha sido también destruido, hasta ahora no he podido dar otras providencias que las de construir una barraca en su plaza para alojar y contar a los enfermos y disponer que la tropa se acuartele en unas pequeñas chozas de paja situadas a los extremos de la ciudad, a causa de que aún no ha cesado de temblar la tierra. Se repiten diariamente algunos [réplicas], no muy pequeños pero distantes mucho del ímpetu y rigor del primero. Y muchos, y yo entre ello, somos de sentir que ha estado muy lento y continuo el baiven hasta las 11 de la noche del día de ayer... [réplicas].

2] *Cuba, 18 de agosto de 1766* [Santiago de Cuba]

*Carta del Gobernador al Capitán General*

... "Los terremotos cesaron ya" ... [fin de la actividad; aproximadamente 66 días].

De todos estos datos originales se desprende entre otras cosas que:

- 1) Ninguno de los autores citados fue testigo presencial de los sismos más fuertes de Cuba [siglos XVI-XIX] y tampoco accedió a los documentos originales que informaban de tales sucesos
- 2) Sobre la base de los datos localizados en el Archivo de Indias para el terremoto del año 1766 (Fig. 6.5)
  - a) el evento principal ocurrió el día 11-12 de junio a las 12 de la noche en Santiago de Cuba
  - b) el epicentro se determina en el mar y que las oscilaciones del terreno fueron de dirección E-O, aproximadamente. Sin embargo, no se puede discernir con absoluta claridad si estaba al SE o al SO de la bahía de Santiago de Cuba]
  - c) no hubo *tsunami*
  - d) no hay informes de grietas en el terreno
  - e) hubo premonitores por lo que, evidentemente, se redujo considerablemente el número de víctimas [34 – 40 muertos y 700 heridos]
  - f) varias fueron las réplicas perceptibles inmediatamente después del evento principal y éstas se informan hasta el día 30/07. La mayoría de ellas sin precisión de la cantidad ni de la hora. La réplica más fuerte ocurrió el día 12/06 a las 3 a.m. Los días 16/07 y 29/07 se señala que hubo 6 y 3, respectivamente. Se informa una réplica los días 03/07 (8 de la noche), 08/07 (8:30 de la noche), 12/07 (05:30 de la madrugada) y 15/07 (1 de la madrugada) [en 66 días aproximadamente 50 réplicas].

Otra demostración de la importancia y necesidad de acceder a las fuentes bibliográficas originales está en la siguiente nota de *Seismological Society of America* (vol. XVII, numbers 1-2, December, 1945):

Cuba.- *Some thought is being given the reestablishment of a seismological station at Belen College. The U.S. Navy operates a meteorological – microseismic station at Guantanamo.*

Lo más relevante de esta nota es que Estados Unidos opera una Estación Sismológica en Guantánamo en el año 1945 y que quizás esté en operación en la actualidad.

En este punto señalamos que han existido, para el caso de Cuba, algunos trabajos interesantes para buscar relaciones entre sismos y la Astronomía. Así, Cárdenas H. (1945) hace un estudio sobre las posibles relaciones entre las fallas de Cuba y los eventos astronómicos. En esa misma línea hay un trabajo reciente de Pérez y Rodríguez (2002), pero que dadas las conclusiones el mismo dista bastante de una utilidad concreta. Al respecto se puede apuntar lo siguiente: Actualmente se comprende mejor la mecánica de producción de terremotos con la criticalidad auto-organizada, en el sentido de que pequeñas perturbaciones pueden cambiar totalmente la ocurrencia de un sismo. La búsqueda de una regularidad estadística ligada a la periodicidad del movimiento de la Luna y el Sol, parece razonable, pero como esos autores aseguran (“...*la muestra analizada permitió corroborar las opiniones de muchos sismólogos respecto a que las influencias gravitatorias del Sol y de la Luna en el desencadenamiento de los grandes sismos no parecen ser fuertes*”...). No obstante, hay dos aspectos que, desde nuestro punto de vista, son criticables: 1) que la segunda de las muestras empleadas en el trabajo de marras (1965-1977) hayan excluido los eventos de la primera (1905-1971); 2) existen muestras (datos) más completos en el NEIC y en el *International Center of Edinburgh* que los empleados.

Por último, para mostrar que la crítica científica es válida siempre y cuando corresponda y en los términos precisos y rigurosos, no recurriremos a ejemplo de otro país sino a uno de Cuba, de la Cuba del período anterior al año 1962, antes del “Poder Revolucionario”. En esa crítica tampoco hay alusiones políticas. En ese caso fue el Dr. Antonio Pastor Giraud quien presentó, en la sesión del 27 de marzo de 1915 en la Academia de Ciencias Médicas, Física y Naturales de La Habana, una crítica demoledora, pero correcta a un trabajo del Dr. Jover sobre los terremotos de los días 27 – 28 de febrero de 1914. Seguidamente presentamos, textualmente y sin siquiera algún comentario nuestro, algunos fragmentos de su exposición:

...Copio del Doctor Jover:...”*el terremoto del 27 al 28 de Febrero de ese año tuvo las siguientes características: notable, no lo local, del grado VII, epicentro hacia Gibara, doméstico y con réplicas;*” y a renglón seguido añade: “*esto último prueba que su origen y desarrollo no tuvo por causa ocasional la Tectónica.*”

Siento disentir en este terreno de las opiniones del doctor Jover. A mi modo de ver sucede lo contrario de lo que afirma el citado profesor, esto es, que precisamente existen las réplicas en los temblores tectónicos....Me extraña mucho que, luego, más adelante, vuelva a decir lo siguiente: “*Todo terremoto cuya manifestación es puramente tectónica carece de réplicas y alcanza gran profundidad.*”...en Gibara, el pueblo no tenía noticias de temblores precedentes, y no obstante, descubrimos multitud de relieves de falla, todos paralelos entre sí, que nos indicaban antiguos seísmos, y que, al mismo tiempo, nos sirvieron de clave en nuestras investigaciones para aclarar y robustecer ciertas ideas”...[fin de la cita].

*... "Si en la Isla de Cuba quisiéramos establecer algo sintético, referente á los terremotos, sería punto menos que imposible, pues desgraciadamente se tienen escasas noticias acerca de los temblores de tierra ocurridos en Santiago de Cuba, y menos del departamento occidental" ...*

Don Pedro Saltearín

## 7. Instrumental sismológico en Cuba

### Introducción

La Sismología es la ciencia que se dedica al estudio de los terremotos y la estructura interna de la Tierra empleando las ondas sísmicas producidas por fuentes naturales (sismos) o artificiales (explosiones). En este sentido se utiliza un instrumento denominado sismógrafo (Fig. I.1). Sintéticamente, éste detecta, amplifica y registra las ondas. Estos equipos, de varios tipos y calidades, se instalan, convenientemente, en las Estaciones Sísmicas (o Sismológicas) e incluso hay portátiles (Fig. 7.1). Ellas pueden ser permanentes o temporales. La agrupación o asociación de estaciones constituyen las redes de estaciones. Al nivel internacional hay varias redes (Tabla 7.1) (Fig. 7.2).

Tabla 7.1.- Datos de las redes sísmicas internacionales.

Nº	Denominación	Localización
1	World-National Earthquake Information Center (NEIC)	Es una parte del <i>Department of the Interior, U.S. Geological Survey</i> . Está localizado en <i>Golden, Colorado</i> , a 10 millas al oeste de Denver.
2	Middle American Seismograph Consortium (MIDAS)	El Consorcio debe favorecer el intercambio y cooperación técnico y científico internacional entre las instituciones de América Central y el Caribe.
3	European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC)	Ella fue concebida bajo la consideración de que el área Europea – Mediterránea está afectada de un muy serio peligro sísmico. Está bajo la dirección del Consejo Europeo.
4	IRIS Global Seismographic Network (IRIS)	El objetivo es la explotación de 128 estaciones sísmicas permanentes uniformemente distribuidas en la superficie de la Tierra.
5	Observatories and Research Facilities for European Seismology (ORFEUS)	Organización europea con ánimo de coordinar y promover los registros digital y de banda ancha.

En Cuba, desde 1965 se estableció la primera red permanente con dos estaciones. Pero como se mencionó en el capítulo 4 la Orden de los Jesuitas operó, con anterioridad a esa fecha, en La Habana una estación. También indicamos que en el Caribe – Centroamérica han funcionado, de acuerdo con los datos de Jorgensen (1966), Johansson (1988), Morales (1989), Álvarez (1990) y Rojas *et al.* (1993), un variado número de estaciones, como se puede ver en la tabla 7.2

Tabla 7.2.- Relación de algunos de los países latinoamericanos con redes sísmicas.

No.	Año	País
1	1888	Costa Rica
2	1896	El Salvador
3	1904, 1908	Panamá
4	1925	Guatemala
5	1966	Nicaragua

La construcción del primer “registrador” de sismos se atribuye a un venerable sabio chino en el año 132 d.C. de nombre Chang Heng. Este instrumento era realmente un sismoscopio, ya que indicaba únicamente la dirección del primer impulso del terreno. En el Museo de la Academia de Ciencias de Cuba hay una copia de este artefacto que perteneció al Observatorio del Colegio de Belén.

En el final del siglo XIX y principio del siglo XX fueron instaladas varias estaciones sismográficas, de diferente manufactura, en varios puntos del Planeta. Esas estaciones funcionaban continuamente y eran capaces de registrar las ondas de los terremotos ocurridos, incluso, en lugares lejanos. Esta asociación de estaciones constituyeron, al nivel mundial, las primeras redes y su importancia fue relegar a un segundo plano los informes subjetivos de los efectos de los terremotos. Inmediatamente se alcanzó un programa internacional de cooperación con el cual los informes y datos de los terremotos se podían intercambiar para facilitar su correcta localización.

Para conocer los rasgos característicos de las zonas sísmicas que se existen en una región es imprescindible realizar, con cierto grado de precisión, la clasificación espacial, temporal y energética de los sismos que ella ocurren. Por ello, a los eventos sísmicos registrados se les deben determinar sus coordenadas geográficas (latitud y longitud), la profundidad, la amplitud y la hora de origen. Éstos son los parámetros fundamentales que permiten lograr la tarea inicialmente indicada. Evidentemente, mientras mayor sea el número de estaciones sismológicas que registran al sismo menor es el error con el cual se determinan los parámetros mencionados.

El movimiento del terreno debido a un terremoto fuerte puede ser muy significativo en la zona pleistósica. Por ello, los instrumentos de registro deben ser diseñados para inscribir correctamente, en la escala de medición del sismograma, las ondas sísmicas.

La capacidad de detección y registro de sismos están determinados, principalmente, por dos elementos: 1) la distribución de las estaciones, 2) la amplificación de los equipos. Con relación a este segundo elemento es importante indicar que ella depende del nivel de "ruido" de la zona donde está instalada la estación. La tabla 7.3 contiene algunas de las condiciones que deben cumplir los emplazamientos de las Estaciones Sismológicas. También hay que cumplir con los requerimientos que se mencionan en la tabla 7.4.

Tabla 7.3.- Requerimientos para el funcionamiento de una estación sísmica.

Nº	Descripción
1	Acceso muy reducido o nulo de personas, animales y vehículos
2	Muy bajo a nulo ruido industrial
3	Alejamiento del tendido eléctrico
4	Distante de los ríos, arroyos, mar y embalses
5	Evitar la floresta (bosques y arbolados) copiosa
6	Eludir las zonas de frecuentes rachas de viento
7	Asentamiento en fundamento rocoso sólido

Tabla 7.4.- Otros requerimientos para la operación de estaciones sísmicas.

Nº	Descripción
1	El sismómetro (= péndulo) debe estar asentado en un pilar fijo sólidamente a la roca
2	El equipamiento debe mantenerse protegido con puestas (tomas) a tierra
3	El suministro eléctrico debe ser estable

La colaboración internacional es otro componente de importancia para la determinación precisa de los parámetros sísmicos. Con los datos sísmicos se conforman los catálogos de terremotos. Ellos son la base de las investigaciones. A partir de ellos es factible determinar y precisar, entre otros, la fuente y lugar de ruptura, la energía liberada, el elemento sismogénico responsable, el tipo de movimiento, etc. Es de importancia destacar que la conservación de los datos (registros originales) es de mucha importancia. Sin embargo, debido a la mayor parte de esos registros son del siglo

anterior y se obtuvieron en papel ahumado y papel fotográfico su conservación es tremendamente difícil y costosa. En la actualidad la mayoría de los registros son digitales, lo cual permite no sólo una mejor manipulación y acceso a los datos, sino que evita las dificultades mencionadas.

Cuando acontece un terremoto el registro que se obtiene en superficie, de tener el equipo adecuado, es resultado de tres factores principales: 1) la fuente, 2) el medio por el cual se propagan las ondas sísmicas, 3) el emplazamiento de la estación (o efecto local). Los estudios que evalúan este último aspecto efecto local (o efecto de sitio) han demostrado que éste se asocia con: 1) la amplificación o de – amplificación del movimiento del terreno, 2) la diversidad de movimientos en áreas o zonas cercanas entre sí, 3) la heterogeneidad de la amplitud, la frecuencia y la duración de la señal. Concretamente el efecto local se refiere a las modificaciones que sufren las ondas sísmicas observadas en la capa más superficial del terreno (suelo desde el punto de vista constructivo). Así se aprecia atenuación, amplificación y dispersión (o *scattering*), que tienen sus causas en las características geológicas del emplazamiento, la topografía superficial y el tipo y la dirección de incidencia de las ondas. Sin embargo, lo determinante resulta ser la geología.

#### **a) Sismogramas y ondas sísmicas**

La figura 7.3 es un sismograma. Esto es el registro gráfico de un terremoto obtenido por un sismógrafo. En principio parece sólo una muy complicada serie de líneas ondulantes. Ésas son las ondas sísmicas. Pero también en él hay una serie de marcas regulares que son inscripciones precisas del tiempo. Debemos aclarar que en este caso el sismograma fue obtenido en un tambor giratorio (Fig. 7.4), por lo que la línea registrada es una espiral continua. La apariencia de este registro depende de varios factores: tipo de instrumento utilizado (Fig. 7.5), distancia al epicentro, de la magnitud y de la profundidad del evento.

Las ondas en general tienen una fuente y un medio de transmisión. Para el caso de las ondas sísmicas la fuente es el foco del terremoto y el medio es la Tierra. Ellas transmiten parte de la energía que se libera, bruscamente, en el foco al producirse un terremoto y se han clasificado en dos tipos básicos: 1) Internas o Volumen, 2) Superficiales. Las ondas internas se pueden propagar por el interior de la Tierra, incluso por zonas profundas. Ellas se dividen a su vez en dos clases: 1) Primarias o P, 2) Secundarias o S (Fig. 7.6). Esta división responde al tiempo de llegada a la estación sísmica, siendo las P las primeras en llegar (Fig. 6.3). Las ondas P son ondas longitudinales. Esta clase de ondas se caracteriza por la vibración de las partículas en la misma dirección de la propagación. Ellas modifican el volumen pero no cambian la forma. Mientras que las ondas S son ondas transversales, en las cuales las partículas vibran transversalmente al sentido de la propagación. Para las ondas S si hay cambios de forma, pero no de volumen.

En cuanto a las ondas sísmicas superficiales hay dos tipos, Love y Rayleigh (Fig. 7.7). Ellas son únicamente apreciables cerca de la superficie. Las velocidades de estas ondas son siempre inferiores a las de las ondas internas, pero de amplitudes mayores.

Las ondas internas cuando se mueven a través de capas rocosas en la corteza se pueden reflejar y refractar en las superficies de separación entre los tipos de rocas (Fig. 7.8).

Mientras una u otra onda se refleja y se refracta, parte de la energía de un tipo es convertida en ondas del otro tipo. Las ondas P y S al alcanzar la superficie del terreno reflejan casi toda su energía hacia el interior de la corteza. Esto provoca afectaciones, casi simultáneas, en la superficie en dos sentidos diferentes, hacia arriba y hacia abajo.

La localización de un terremoto requiere conocer la hora de origen del inicio de la ruptura y las coordenadas espaciales de la falla. El tiempo de origen, que generalmente se refiere al Tiempo Universal, va a ser determinado dentro del proceso general de localización. En la actualidad, la localización espacial y temporal se realizan mediante algoritmos de cálculo que utilizan como datos los tiempos de llegada de las ondas P y S a las diferentes estaciones de registro. Para terremotos muy próximos se emplean las fases que se propagan en la corteza (Pn, Pg, Sn y Sg) (Fig. 7.9).

El tamaño de un terremoto se mide fundamentalmente con tres parámetros: el momento sísmico, la intensidad sísmica y la magnitud. En la estimación de la intensidad sísmica se puede utilizar dos parámetros: la intensidad máxima ( $I_{máx}$ ), y la intensidad epicentral ( $I_0$ ). Estos parámetros no siempre coinciden espacialmente ya que los máximos de intensidad observada pueden situarse fuera de la región epicentral.  $I_0$  suele ser tomado como medida del terremoto. Ambos valores se determinan por los efectos con la ayuda de una escala, en el caso de Cuba es la MSK (Tabla A2).

En los sismos se definen, entre otros, dos tipos de magnitud:  $m_b$  y  $M_s$  según se mida la amplitud de ondas internas (generalmente la onda P) o de ondas superficiales (ondas de Rayleigh de aproximadamente 20 s de período). La escala  $m_b$  se utiliza preferentemente para terremotos regionales y lejanos de magnitud inferior a 6,5 o de gran profundidad, ya que en ambos casos no se generan ondas superficiales de suficiente amplitud. La magnitud  $M_s$  mide la energía correspondiente a períodos de 20 s. La relación empírica entre ambas magnitudes para valores moderados es la siguiente:  $m_b = 2,5 + 0,63 M_s$ . Mientras que la magnitud  $M_w$  [ $M_w = 1/1,5 \log M_0 - 10,7$ ] es la magnitud determinada por el Momento Sísmico Escalar ( $M_0$ ). El Momento Sísmico es en realidad el mejor parámetro para estimar el tamaño de un sismo por relacionarse directamente con las dimensiones de la fuente. En cambio, la magnitud sólo evalúa la energía sísmica asociada a un determinado período y su entorno.

Debemos indicar que la longitud de una falla se relaciona con la magnitud de los terremotos que puede generar y con el tiempo de duración de la ruptura. En este sentido hay varias relaciones desarrolladas para distintas zonas o escenarios (Tabla 7.5).

Tabla 7.5.- Algunas de las relaciones entre la longitud y la magnitud.

Nº	Expresión	Referencia
1	$M_{máx} = 0,847 + 3,173 \log L_s$	Rubio (1985)
2	$\log L \text{ (km)} = 0,6 M - 2,9$	Matsuda (1977)
3	$\log L \text{ (km)} = 0,6 M - 2,6$	Ivanovic (1985)
4	$M = 4,96 + 1,24 \log L$	Mark y Bonilla (1972)
5	$M = 5,35 + 1,37 \log L$ $M = 5,7 + 1,15 \log L$	Slemsons (1986)

La energía sísmica liberada en un terremoto medida en ergios se relaciona con la magnitud a partir de dos expresiones:  $\log E_s = 5,8 + 2,4 m_b$  y  $\log E_s = 11,8 + 1,5 M_s$ .

## b) Situación anterior al año 1959

Las manifestaciones de la sismicidad en Cuba abarcan prácticamente todo su territorio e históricamente son muchas las poblaciones donde se indica haber sentido los efectos de terremotos (Álvarez *et al.*, 1985). Por ello, la primera estación sismológica fue instalada el 03.02.1907 por la Orden de la Compañía de Jesús en las afueras entonces de La Habana, Luyanó (Fig. 4.1). Consistía en una estación de dos componentes (N-S y E-O) con registro en papel ahumado y detección con sismómetros de tipo Omori - Bosch (Fig. 4.6) (Gutiérrez Lanza, 1914). Se estima estuvo operando hasta 1920. La mayoría de los registros y datos de esa estación se destruyeron a raíz de la intervención gubernamental del denominado “Período Revolucionario” o “Triunfo de la Revolución” de 1959.

## c) Situación posterior al año 1959

A partir del año 1964 se construye sucesivamente un conjunto de edificaciones para la instalación de estaciones sismológicas en el país (Fig. 3.7). Algunas características de esas estaciones aparecen en la tabla 7.6. Esto fue con la colaboración de la ex-U.R.S.S. (Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas) y la ex-R.D.A. (República Democrática Alemana).

Tabla 7.6.- Estaciones sísmicas de Cuba (período 1964-1994).

Nombre	Siglas	Localización (Provincia)	Año	Coordenadas		Tipo de Estación		Altitud (m)
				Lat N	Lon O	Regional/Local	Componentes/ Sismómetros	
Soroa	SOR	Pinar del Río	1964	22,740	-83,000	R	3 (SKM-3)	206
Río Carpintero	RCC	S. de Cuba	1965	19,994	-75,696	R	3 (SKM-3)	100
Pinares de Mayarí	PIN	Holguín	1979	20,067	-75,467	R	3 (SKM-3)	647
Las Mercedes	LMG	Granma	1979	20,167	-77,017	R	3 (SKM-3)	200
Maisí	MAS	Guantánamo	1979	20,200	-74,233	R	3 (SKM-3)	350
Casco	CCC	Camagüey	1982	21,200	-77,433	R	3 (SKM-3, KS-M1)	90
Holguín	HOL	Holguín	1985	20,540	-76,400	R	3 (SKM-3)	50
Tumbadero	TUM	Holguín	1986	21,400	-75,580	R	3 (SKM-3)	20
Manatí	MAN	Camagüey	1986	21,283	-76,917	R	3 (SKM-3)	?
Bazán	BAZ	Holguín	1987	20,600	-75,267	R	3 (SKM-3)	?
La Julia	JUL	S. de Cuba	1988	19,954	-75,580	L (TLN)	1 (SK)	?
Villalón	VIL	S. de Cuba	1988	20,077	-75,737	L (TLN)	1 (SK)	?
Boniato	BON	S. de Cuba	1988	20,081	-75,901	L (TLN)	1 (SK)	?
Baconao	BAC	S. de Cuba	1989	19,920	-75,455	L (TLN)	1 (SK)	?
La Margarita	MAG	S. de Cuba	1989	20,030	-76,044	L (TLN)	1 (SK)	?
Loreto	LOR	S. de Cuba	1989	20,095	-75,588	L (TLN)	1 (SK)	?
Palenque	PAL	S. de Cuba	1989	19,988	-75,450	L (TLN)	1 (SK)	?
Trucutú	TRU	S. de Cuba	1989	20,010	-75,500	L (TLN)	1 (SK)	?
Juraguá	JUR	Cienfuegos	1995	22,065	-80,516	R	3 (SKM-3)	20

También en diferentes momentos se instalaron un conjunto de estaciones temporales. Ellas se limitaron en el tiempo para el estudio en regiones concretas por la ocurrencia de terremotos perceptibles y para estudios especiales vinculados a la construcción de centrales electro-nucleares. Todas estas estaciones, de manufactura soviética, consistían fundamentalmente en: 1) sismómetro (de tres componentes: vertical [Z] y dos horizontales [N-S y E-O]), sismógrafo (tambor de registro [en papel fotográfico] y papel normal) con control de tiempo (reloj – cronómetro marino). El nivel de amplificación para las estaciones de período: 1) corto era de  $30 \cdot 10^3 - 80 \cdot 10^3$  y con un ancho de banda de 1-10 Hz.; y 2) medio era de  $10^3$  y con un ancho de banda de 0,5-0,05 Hz. Sin embargo, dificultades diversas, como irregularidades en el suministro de insumos y energético, humedad ambiental, falta de protección contra descargas eléctricas, irregularidades en el mantenimiento de los equipos y de los locales, dificultades de

disciplina del personal técnico, etc. afectaban al adecuado funcionamiento de las estaciones. Principalmente por ello, en el período de 1985-1990 se desarrolló el primer prototipo de estación sísmica de tipo telemétrica en Cuba (Fig. 7.10). Esto se logró con la colaboración entre el Instituto de Geofísica y Astronomía y el Laboratorio Central de Telecomunicaciones del Ministerio de Comunicaciones de Cuba. El prototipo se instaló en Santiago de Cuba (Fig. 7.11).

Una estación de tipo sismo-telemétrica consiste, al igual que las estaciones sísmicas convencionales, en un detector de ondas sísmicas (sismómetro) pero éste no está inmediato al lado del registrador, sino que puede estar a varios kilómetros de distancia. La comunicación entre el sismómetro y el registrador entonces se logra mediante el enlace por radio, teléfono o satélite. Esto, evidentemente, permite adquirir todas las señales de todos los sismómetros distribuidos en una red, en un mismo punto y al instante, prácticamente en tiempo real. Todo el proceso se puede controlar mediante ordenador. También la sincronización temporal de las estaciones es más rigurosa. Esto evita, entre otros efectos no deseados, las dificultades subjetivas antes indicadas.

Las estaciones sismo-telemétricas están constituidas por el mencionado sismómetro, una tarjeta amplificadora – moduladora, un radio transmisor (o canal de telefonía), una batería y un panel solar. La construcción del habitáculo es sencilla y no tan costosa como una estación tradicional. Evidentemente, las reparaciones son muy rápidas ya que serían simples sustituciones. En el caso de esta primera red, la amplificación de las estaciones es  $30 \cdot 10^3 - 50 \cdot 10^3$  en un ancho de banda de 1-20 Hz.

Está demostrado que los registros de las estaciones sismológicas cubanas están limitados por condiciones físico - geográficos y subjetivas (Cotilla, 1987). Así, la configuración del archipiélago (larga y estrecha), su localización en el marco caribeño (zonas de frecuentes tormentas y marejadas) y la distribución de las estaciones limita, dado el equipamiento, la fiabilidad de las detecciones. La otra parte, no menos importante, incluye la escasa colaboración (por no decir nula) con los países vecinos del Caribe y las sistemáticas dificultades de operación (funcionamiento, registro, análisis y mantenimientos). La mejor estación, en todos los sentidos, ha resultado ser siempre Cascorro, que estaba dedicada, fundamentalmente, al monitoreo de las explosiones nucleares.

La red de estaciones sismológicas cubre hasta el año 1994 con distinto grado de fiabilidad sus zonas sismogénicas. En este sentido, la zona de Cauto - Nipe (que comprende a la ciudad de Bayamo) es la mejor cubierta por la parte oriental de la red (Fig. 3.7); aunque, contradictoriamente por cuestiones subjetivas, no está bien estudiada. Sin embargo, la intención preferente del análisis y procesamiento de la información es para la zona de Bartlett – Caimán (Fig. 3.7). Esta última zona, debido al diseño de la red (localizada al norte) y a factores subjetivos, tiene errores de determinación importantes (Cotilla, 1993). Por lo general, la red cubana no permite una determinación precisa de los hipocentros (Cotilla, 1993); inclusive para los sismos más fuertes hay diferencias significativas entre sus informes y los de la red internacional (Cotilla *et al.*, 1993) (Fig. 7.12). No obstante, puede asegurarse que el proceso de generación de terremotos es superficial,  $h \leq 30$  km (Álvarez *et al.*, 1990).

En las inmediaciones de la ciudad de Santiago de Cuba, como un resultado de los temas de investigación 310.01 y 430.03 de Álvarez *et al.* (1985, 1990), se puso en operación,

la ya mencionada red local de tipo sismotelemétrico (TLN) (Tabla 7.7) a finales de la década del 80 y principios del 90. Esta red fue desarrollada por especialistas cubanos de distintas instituciones. Su estructura es sencilla y funcional. El diseño consiste en un conjunto de estaciones remotas que transmiten la señal por radio hacia la estación central que se encuentra en la sede del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (López *et al.*, 1988). La fase de análisis en tiempo real quedó pendiente.

Tabla 7.7.- Estaciones sísmicas remotas en Santiago de Cuba (red experimental).

Nombre	Siglas	Localización (Provincia)	Año	Coordenadas		Tipo de Estación		Altitud (m)
				Lat N	Lon O	Local	Componentes/ Sismómetros	
La Julia	JUL	S. de Cuba	1988	19,954	-75,580	L (TLN)	1 (SK)	?
Villalón	VIL	S. de Cuba	1988	20,077	-75,737	L (TLN)	1 (SK)	?
Boniato	BON	S. de Cuba	1988	20,081	-75,901	L (TLN)	1 (SK)	?
Baconao	BAC	S. de Cuba	1989	19,920	-75,455	L (TLN)	1 (SK)	?
La Margarita	MAG	S. de Cuba	1989	20,030	-76,044	L (TLN)	1 (SK)	?
Loreto	LOR	S. de Cuba	1989	20,095	-75,588	L (TLN)	1 (SK)	?
Palenque	PAL	S. de Cuba	1989	19,988	-75,450	L (TLN)	1 (SK)	?
Trucutú	TRU	S. de Cuba	1989	20,010	-75,500	L (TLN)	1 (SK)	?

En algunas zonas de Cuba, dada la ocurrencia de sismos perceptibles, han sido instaladas estaciones sismológicas con carácter temporal (Fig. 7.12). El actual conjunto de estaciones sísmicas cubanas de acuerdo con Moreno (2002) se relaciona en la tabla 7.8. Las estaciones de banda ancha poseen sismómetros chinos FBS-3A con rango de 0,05 – 40 Hz. Y las de corto período tienen sismómetros rusos SKM3 de período natural de 1 s. Todas las estaciones tienen tres componentes y funcionan en un rango dinámico de 96 dB (Fig. 7.13).

Tabla 7.8.- Estaciones sísmicas de Cuba de acuerdo con Moreno (2002).

Nº	Siglas de la estación	Fecha	Lat N	Lon O	Altitud (m)	Equipamiento
1	RCC	02.1998	19,9953°	75,6965°	100	Banda Ancha
2	CCC	03.1998	21,1937°	77,4172°	90	Banda Ancha
3	LMG	05.1998	20,0673°	77,0047°	200	Banda Ancha
4	YARC	05.1998	20,2000°	76,2200°	100	Corto Período
5	PINC	05.1998	20,4870°	75,7910°	647	Corto Período
6	SABC	05.1998	20,3800°	75,1900°	100	Corto Período
7	SOR	08.1998	22,7830°	83,0180°	206	Banda Ancha
8	CIES	10.1998	20,0020°	75,7710°	40	Corto Período
9	MAS	11.1998	20,1760°	74,2310°	350	Banda Ancha
10	MOA	01.1999	20,6583°	74,9568°	140	Banda Ancha
11	MCG	07.1999	22,3333°	80,0000°	100	Banda Ancha

#### d) Mapas de epicentros

Las figuras 7.14 y 7.15 muestran los epicentros determinados con la red de estaciones sismológicas de Cuba y de su parte oriental, para dos períodos diferentes, 1979-1989 y 1990, respectivamente. En el capítulo 10 se discute al respecto de este asunto.

La figura 7.14 tiene los epicentros de Cuba para el período 1979-1994 y por rango de magnitud. Estas figuras no se diferencian sustancialmente de la figura 6 que presentó Moreno (2002) para el período 1979-1997, y obtenidos los epicentros con la nueva red. Por ello, debemos decir que el período de funcionamiento de la nueva red de estaciones de Cuba es aún muy corto para extraer conclusiones definitivas. No obstante, es evidente a partir de las figuras: 1) que la detección sísmica no ha variado

sustancialmente, 2) los agrupamientos epicentrales se mantienen en las mismas localizaciones espaciales. E incluso se comprueba que los datos de ocurrencia / localización siguen siendo emitidos de inmediato por entidades internacionales, sin el apoyo de las estaciones cubanas, ejemplo el terremoto del 01.08.2003 del suroriente cubano. Esto resulta un evidente contrasentido; ya que según Moreno (2002) la nueva red cubana opera con gran eficiencia y efectividad, pero no aparece siquiera alguna de las estaciones cubanas representadas en la red MIDAS (Fig. 7.16).

#### e) Datos de los registros de algunos terremotos cubanos

Como una muestra de la capacidad de detección de las redes sísmicas internacionales, lamentablemente, sin la cooperación de las estaciones cubanas, se presentan estos apuntes:

- 1- De acuerdo con la *British Association for the Advancement of Science – Seismological Committee* 37 estaciones registraron el evento del 28.02.1914 a las 5 h 3 m y 21 s. Se determinó entonces que las coordenadas son: 18 °N y 67° W y que se correspondía con Gibara – Holguín (Cuba).
- 2- En el *International Seismological Summary* apareció que se determinó con 12 estaciones que el día 03.02.1932 a las 6 h 16 m 3 s se produjo un terremoto en las coordenadas 19,7N y –75,5W con error epicentral de 0,27 (*Seismological Notes of the BSSA*, 1932, vol. 14, N° 1, 71-72 pp.). Esto se correspondía con Santiago de Cuba. Al respecto debemos añadir que Montelieu y Pedroso expusieron en su informe que ese terremoto produjo 14 muertos y 300 heridos, que dañó al 80% de las edificaciones, y que hubo 122 réplicas hasta el día 01.02.1933. También presentaron el mapa de isosistas (Fig. 4.8).
- 3- El *International Seismological Summary* a partir de 15 estaciones determinó que el día 15.08.1939 a las 3h 52 m 31 s, en las coordenadas 22,5N y 79,0W (Remedios-Caibarién = zona norte y central de Cuba) se produjo un terremoto.
- 4- El *US Coast Geodetic Service* con 111 estaciones determinó que el 07.08.1947 a las 00 h 40,3 m se produjo un terremoto en Santiago de Cuba, en las coordenadas 19,8N y 75,8W, y que se diferencia de la determinación de Gutenberg que fue en las coordenadas 19,75N y 75,25W (*Seismological Notes of the BSSA*, 1947, vol. 37, N° 3, p. 350 p.). Y en *Earthquakes Notes (Eastern Stations) of the Seismological Society of America*, 1947, vol. XIX, N° 1-2 repiten la misma información e incluyen la determinación (*time*: 00:40,4; 19,8N 75,7W) de la *Central Office of the Jesuit Seismological Association at St. Louis* También en *Annales de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg (Nouvelle Série, Tome IX-X-XI-XII-XIII, Deuxième Partie; Seismologie: Observations des Stations Françaises 1944-46-48)* del año 1951 apareció la siguiente información: 07.08.1947 a las 22 h 16,9 m hubo una réplica. Y en *International Seismological Summary* del año 1956 se escribió que 15 estaciones registraron un terremoto el día 06.08.1947 a las 20 h 6 m 13 s en las coordenadas 19,4N y 75,8 W.
- 5- En la página *web* del *NEIC (National Earthquake Information Center)* del *USGS* apareció que el pasado día, 01.08.2003 a las 03 h 45 m 30 s, ocurrió un terremoto de  $M_s = 4,7$  en las coordenadas 19,31 N, -76,40 O con una  $h = 10$  km. Además incluyeron un conjunto de mapas que mostraban, entre otras cosas, una evaluación de la posible perceptibilidad del sismo y la historia sísmica de la región. Ese evento sísmico ocurrió exactamente al sur de la Sierra Maestra.

Apreciamos algunas diferencias en los datos de las estaciones sísmicas cubanas que aparecen en los trabajos de Moreno *et al.* (2002) y Moreno Toirán (2002) con respecto a los de la página *web* del USGS *Earthquake Hazards Program: NETWORK SSNC* [octubre de 2003] ([http://neic.usgs.gov/neis/station\\_book/SSNCNETWORK.html](http://neic.usgs.gov/neis/station_book/SSNCNETWORK.html)). Los datos aparecen en la tabla 7.9 y las diferencias se indican en negrita.

Tabla 7.9.- Datos de las estaciones sísmicas cubanas según tres fuentes.

USGS (2003)			Moreno <i>et al.</i> (2002)			Moreno Toirán (2002)		
Estación	Coordenadas (Lat, Lon)	Altitud (m)	Estación	Coordenadas (Lat, Lon)	Altitud (m)	Estación	Coordenadas (Lat, Lon)	Altitud (m)
<b>CCCC</b>	<b>21.2000, -77.7660</b>	<b>0.0</b>	CCC	21.1937, -77.4172	90	CCC	21.1937, -77.4172	90
<b>CISC</b>	<b>20.0020, -75.7710</b>	<b>0.0</b>	CIES	20.0020, -75,7710	40	CIES	20.0020, -75,7710	40
<b>GTMO</b>	<b>20.0800, -75.1400</b>	<b>0.0</b>	-	-	-	-	-	-
<b>HOL</b>	<b>20.8940, -76.2630</b>	<b>350.0</b>	-	-	-	-	-	-
<b>LMGC</b>	<b>20.0640, -77.0050</b>	<b>0.0</b>	LMG	20.0673, -77.0047	200	LMG	20.0673, -77.0047	200
<b>MASC</b>	<b>20.1750, -74.2310</b>	<b>0.0</b>	MAS	20.1760, -74.2310	350	MAS	20.1760, -74.2310	350
<b>MGV</b>	<b>22.1100, -79.9800</b>	<b>0.0</b>	-	-	-	-	-	-
<b>MOAC</b>	<b>20.6600, -74.9600</b>	<b>0.0</b>	MOA	20.6583, -74.9568	140	MOA	20.6583, -74.9568	140
<b>PINC</b>	<b>20.4870, -75.7910</b>	<b>0.0</b>	PINC	20.4870, -75.7910	647	PINC	20.4870, -75.7910	647
PLNC	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>RCC</b>	<b>19.9942, -75.6958</b>	<b>100.0</b>	RCC	19.9953, -75.6965	100	RCC	19.9953, -75.6965	100
SABC	20.3800, -75.1900	<b>0.0</b>	SABC	20.3800, -75.1900	100	SABC	20.3800, -75.1900	100
SOR	<b>22.7840, -83.0080</b>	206.0	-	-	-	SOR	22.7830, -83.0180	206
<b>YAR</b>	<b>20.3700, -76.3600</b>	<b>200.0</b>	YARC	20.2000, -76.2200	100	YARC	20.2000, -76.2200	100
						MCG	22.3333,80.0000	100

Es notoriamente significativo, e inexplicable para el autor, que Z.Ma. Moraleza firmó un artículo de CMKC (“Radio Revolución”), bajo el título: “Inauguran estación sísmológica en Pilón, Manzanillo”. En uno de los seis párrafos dice: ...“*La nueva estación sísmológica tiene un costo de inversión de 25 mil dólares y posee una tecnología alemana que mejorará el monitoreo constante de una zona generadora y de mucho interés para las investigaciones sobre los terremotos*”... Ese trabajo está colgado desde el año 2003 en la página *web* (<http://www.cmkc.co.cu/2003/Ciencia%20y%20Tec/ct5.htm>). Sin embargo, la estación no aparece en las relaciones anteriores.

*...”Los terremotos, menos funestos generalmente, en Cuba que en Puerto Rico y Haití, se sienten más en la parte oriental entre el cabo Maisí, Santiago de Cuba y la ciudad de Puerto Príncipe. En La Habana y su jurisdicción jamás ha habido temblores de tierra. Cuando los hubo muy fuertes en la parte oriental de la Isla, dijeron algunos que habían sentido por acá cierto movimiento, y otros que nada percibieron”...*

Don Alejandro von Humbolt

## 8. Sismicidad y peligrosidad sísmica en Cuba

### Introducción

Los estudios de sismicidad se fundamentan en los catálogos de terremotos. Estos catálogos incluyen datos: 1) históricos o pre-instrumentales (para el caso de Cuba, siglos XV-XIX,), 2) instrumentales. Esos catálogos demuestran heterogeneidad y en consecuencia limitaciones. De una forma general, son menos fiables los datos históricos y los instrumentales del período inicial (Cotilla *et al.*, 1993, 1997a).

Los datos macrosísmicos, utilizados en los terremotos históricos, tienen una gran incertidumbre debido al hecho de obtener información a partir de datos de efectos de terremotos ocurridos, por lo general, mucho tiempo antes, y que no pueden ser verificados con un alto nivel de fiabilidad. La determinación de las coordenadas hipocentrales [o foco] (Fig. 2.14) depende de la reconstrucción del campo macrosísmico, el error para la latitud y la longitud oscila en 20 km para los casos de mapas de isosistas definidos, hasta más de 100 km cuando se conocen los efectos de un solo punto ó dos muy próximos entre sí. Mientras que la profundidad es estimada en los casos de mapas de isosistas de buena calidad. En el resto es inferida o asignada.

En cuanto a los datos instrumentales hay dos períodos:

- a) Previos al año 1950 o determinados a partir de los registros obtenidos en un grupo reducido de estaciones, mediante el procesamiento manual empleando tablas especiales (por ejemplo la de Geffreys-Bullen). Tienen un error en latitud y longitud que puede oscilar entre 20 y 100 km, e incluso más. Y en cuanto a la profundidad aparecen algunos valores fijos (0, 33, 50, ..., km) y en muchos casos no aparece ninguno, por lo que debe asumirse está en el primer rango, 0-33 km
- b) Posteriores al año 1950 o determinados usando estaciones lejanas y / o cercanas (distancia de 50-500 km) mediante el procesamiento automatizado. Se caracterizan por los errores dependientes tanto del número de estaciones utilizadas como de su ubicación geográfica. En términos medios se considera que no exceden a los 10 km de error en cuanto a la latitud y la longitud, y de 20-30 km en el parámetro profundidad. Las determinaciones con pocas estaciones son mucho más imprecisas.

Evidentemente, estas características de la precisión limitan las posibilidades de representación cartográfica, siendo aconsejable, para el catálogo completo no usar las escalas más detalladas que 1:4.000.000, y para los epicentros instrumentales posteriores al año 1950, no más detalladas que 1:1.000.000. Otra limitación, no menos importante, de las determinaciones epicentrales, para el caso de Cuba, la constituye la muy escasa o nula cooperación (intercambio) de información con redes locales vecinas. Esta situación es netamente subjetiva y responde a problemas de tipo “político-científico”, que no comentaremos.

### a) Sismicidad

La sismicidad actual de la placa Caribe puede ser descrita brevemente y a grandes rasgos sobre la base de los trabajos de Sykes y Ewing (1965) y Mann y Burke (1984) (Fig. 3.2). En los bordes litosféricos del Pacífico y del Atlántico, tienen lugar los terremotos más profundos ( $h \geq 70$  km.) y fuertes ( $M_s \geq 7,0$ ) (Álvarez *et al.*, 1985) del entorno caribeño, así como también concentran la actividad volcánica actual (Mann y Burke, 1984). Estos bordes son de subducción, pero diferentes en cuanto el Atlántico

está relacionado con el Arco de Islas de las Antillas Menores y el del Pacífico con Cadenas de Montañas Continentales. El borde occidental tiene una densidad de terremotos muy superior con respecto al borde oriental. Los márgenes del norte y del sur aunque se distinguen por una sismicidad fundamentalmente moderada ( $M_s < 6,0$ ) y por sectores alta ( $M_s > 6,0$ ), tienen diferencias importantes entre ellos (Álvarez *et al.*, 1985). La zona interna de la placa Caribe es prácticamente asísmica.

Sykes y Ewing (1965) representaron al sur de Cuba Suroriental (inmediaciones de Baconao) sólo los epicentros de tres terremotos, determinados instrumentalmente, (Tabla 8.1), señalando que para el margen septentrional del Caribe la sismicidad es notoriamente más fuerte al noreste de La Española. Esta observación ha sido confirmada extensivamente por distintos autores (Álvarez *et al.*, 1985). A este aspecto nos referimos en el capítulo 6.

Tabla 8.1.- Terremotos del entorno de Cuba suroriental según Sykes y Ewing (1965).

Nº	Fecha dd.mm.aa	Hora hh:mm:ss	Coordenadas Lat N, Lon O	h (km)	Ms	Total de Estaciones
1	13.06.54	16:59:14,7	19.95, 75.51	0	4,0	7
2	24.04.55	12:45:25,4	19.28, 74.14	8	4,2	22
3	16.03.57	12:46:08,2	19.88, 75.07	0	4,3	12

Las manifestaciones de la sismicidad en Cuba abarcan prácticamente todo su territorio e históricamente son muchas las poblaciones donde se reporta haber sentido los efectos de terremotos (Chuy y Rodríguez, 1980). Una selección de estos sismos sobre la base de su perceptibilidad está en la figura 8.1A.

En atención a la situación geodinámica de Cuba en el contexto de placas litosféricas se distinguen muy bien en ella dos tipos diferentes de sismicidad, de entreplacas (o de borde de placas) y de interior de placas litosféricas (o intraplaca) (Álvarez *et al.*, 1985). El primer tipo es debido al proceso de interacción directa de las placas de Norteamérica y del Caribe. Es por ello que en esta zona (Bartlett-Caimán) ocurre la mayor cantidad de eventos sísmicos y también están los de magnitudes mayores ( $M_s \geq 7,0$ ). Los terremotos de interior de placa tienen lugar en el resto del territorio insular y su parte marina adyacente. Ellos son significativamente menos fuertes ( $M_s < 7,0$ ) y menos frecuentes con relación al tipo anterior.

Cuba poseía en 1990 una red de estaciones sismológicas que cubría con distinto grado de fiabilidad sus zonas sismogénicas (Fig. 8.1B). En este sentido, Cauto-Nipe es la mejor cubierta aunque contradictoriamente no está bien estudiada. Sin embargo, la intención preferente del análisis y procesamiento de la información es para Bartlett-Caimán (que se denomina, por algunos autores, Oriente para el borde de Cuba). Esta última zona, debido al diseño de la red y otros factores subjetivos, tiene errores de determinación importantes (Cotilla, 1993). Por lo general, la red cubana, incluyendo a la actual, no permite una determinación precisa de los hipocentros (Cotilla, 1993); inclusive para los sismos más fuertes hay diferencias significativas entre sus informes y los de la red internacional (Cotilla *et al.*, 1993). Sin embargo, puede asegurarse que el proceso de generación de terremotos es superficial,  $h \leq 30$  km (Álvarez *et al.*, 1985).

Utilizando la cartografía de los epicentros determinados con la parte oriental de la red cubana, para el período 1979-1989 (Fig. 7.13), es factible distinguir con cierta precisión

las zonas sismogénicas. A simple vista el número de eventos registrados es considerablemente mayor en el borde suroriental de Cuba. Esa distribución es muy heterogénea en cuanto a número y agrupación de terremotos. Se distinguen de oeste a este siete sectores (Fig. 8.2): 1) El grupo de Cabo Cruz; 2) El “vacío” de Pílon; 3) El grupo de La Plata-Baconao (el más extenso y numeroso); 4) El “vacío” de Guantánamo; 5) El grupo Purial; 6) El “vacío” de Maisí; 7) El grupo de Haití. La dispersión del grupo del este de Maisí es mayor que la del grupo de Cabo Cruz. Hacia el norte el número es menor con tendencia al agrupamiento en la dirección NO a lo largo de la costa norte. En el borde norte y noreste de Jamaica hay un número importante de sismos. Más al sur la detección es mucho menor. Sin embargo, para la otra parte del territorio cubano (el de mayor extensión superficial) la correlación sismicidad-falla se establece casi exclusivamente con datos macrosísmicos, por lo que la fiabilidad es menor (Cotilla, 1993).

La actividad sísmica del sur de Cuba, asociada a la totalidad de la zona sismogénica Bartlett-Caimán, se aprecia perfectamente en la figura 8.2B. Esos epicentros están determinados por la red internacional de estaciones y son del mismo período que los de la figura 8.3 determinados con la red cubana. Sin embargo, entre esas figuras hay diferencias significativas y evidentes, por lo que no les comentaremos.

Para algunos terremotos de Cuba han sido elaborados mapas de isosistas (Chuy *et al.*, 1988) y, a partir de su análisis, se ha podido, en una primera aproximación, identificar al elemento generador (falla y nudo de fallas) y establecer la dirección de propagación de la energía, como en el caso del sismo de Torriente-Jagüey Grande del 16.12.1982 (Chuy *et al.*, 1983a) (Fig. 5.6). También esto ha sido posible detectarlo por la localización de las fallas sismogénicas NC y BC, y las figuras geométricas de las isosistas de los terremotos ocurridos en ellas (apreciar que sólo se representan en una mitad) (Fig. 8.4) (Álvarez *et al.*, 1985). Sin embargo, el alto nivel de subjetividad para la evaluación de los datos iniciales y en el trazado de las isosistas limitan el alcance de estos resultados en las investigaciones sismotectónicas (Cotilla *et al.*, 1993).

## **b) Mecanismos focales**

Los mecanismos focales para la zona sismogénica de Bartlett-Caimán (Fig. 8.5) confirman, parcialmente, el desplazamiento transcurrente sinestroso de la placa Caribe con relación a la placa norteamericana, ya que predomina desde Cabo Cruz (zona de intersección de tres Unidades Sismotectónicas (US): Central, Oriental y Suroriental) y hacia el este el mecanismo de tipo inverso. Desde ese lugar hay una importante heterogeneidad tectónica en el segmento litosférico (Cotilla, 1993). Hasta 1976 sólo se disponía de 6 mecanismos, ninguno del tramo cubano. En el período 1976-1984 ya hay cuatro mecanismos para el sector cubano, para 1984 otros cuatro mecanismos incrementaron la relación (pero de sismos no analizados anteriormente) y desde 1985 hasta la fecha hay nueve más.

Esos mecanismos han sido obtenidos únicamente para la zona sismogénica de Bartlett - Caimán y a partir de estaciones internacionales (Tabla 8.2). Evidentemente, destaca el hecho que la mayoría de las determinaciones son de autores de otros países, lo cual será más significativo en la actualidad debido a la automatización del proceso y el acceso a la información. Los mecanismos determinados, aunque insuficientes, confirman

parcialmente el desplazamiento transcurrente sinistroso de la placa Caribe con relación a la placa norteamericana, donde está Cuba.

Tabla 8.2.- Datos de los mecanismos focales.

Nº	Fecha	Lat N, Lon O	Magnitud	h (km)	Momento sísmico	Fuente
1	19.09.1957	16.96, 85.60	mb = 6,0			Molnar y Sykes, 1969
2	25.07.1962	18.85, 81.73		10	$1,2 \cdot 10^{25}$ din.cm	Molnar y Sykes, 1969
3	23.02.1966	16.96, 85.60	mb = 4,9			Molnar y Sykes, 1969
4	20.04.1962	20.6, 72.2				Molnar y Sykes, 1969
5	25.02.1969	15.3, 87.4	mb = 5,4			Dean <i>et al.</i> , 1978
6	04.02.1976	15.28, 89.19	Ms = 7,5			Kanamori <i>et al.</i> , 1976
7*	11.10.1968	19.88, 75.92	mb = 4,3			Álvarez <i>et al.</i> , 1984
	16.02.1969	19.92, 75.74	mb = 4,2			
	16.03.1970	20.14, 74.6	mb = 4,3			
	22.12.1970	19.92, 75.29	mb = 4,7			
	20.05.1973	19.71, 75.58	mb = 4,5			
8	11.04.1972	19.09, 80.74	mb = 4,7			Álvarez <i>et al.</i> , 1984
9	19.02.1976	19.87, 76.87	Ms = 5,7			Álvarez <i>et al.</i> , 1984
10*	23.02.1976	19.84, 77.12	Ms = 4,6			Álvarez <i>et al.</i> , 1984
	24.02.1976	19.84, 77.17	mb = 4,8			
11	23.09.1887	Sur de Cuba	Ms = 7,5		$2,5 \cdot 10^{20}$ Nm	Mocquet, 1984
12	20.02.1917	19.5, 78.5	Ms = 7,4		$1,4 \cdot 10^{20}$ Nm	Mocquet, 1984
13	03.02.1932	19.8, 75.8	Ms = 6,7		$1,5 \cdot 10^{19}$ Nm	Mocquet, 1984
14	07.08.1947	19.84, 75.3	Ms = 6,7		$1,5 \cdot 10^{19}$ Nm	Mocquet, 1984
15	13.11.1978	19.84, 76.05	Ms = 5,1	10	$6,3 \cdot 10^{16}$ Nm	CMT
16	01.09.1985	19.78, 75.08	Ms = 5,1	10	$4,4 \cdot 10^{16}$ Nm	CMT
17	12.02.1989	19.69, 74.36	Ms = 5,2	60	$7,5 \cdot 10^{16}$ Nm	CMT
18	22.05.1990	19.74, 76.02	Ms = 5,1	33	$1,3 \cdot 10^{17}$ Nm	CMT
19	26.08.1990	19.59, 77.87	Ms = 5,9	33	$2,2 \cdot 10^{17}$ Nm	CMT
20	04.09.1990	19.80, 75.69	Ms = 5,2	33	$7,3 \cdot 10^{16}$ Nm	CMT
21	26.08.1991	18.90, 80.97	Ms = 5,2	10	$3,1 \cdot 10^{24}$ din.cm	CMT
22	25.05.1992	19.61, 77.87	Ms = 6,9	33	$2,0 \cdot 10^{19}$ Nm	Perrot <i>et al.</i> , 1997
23	27.06.1992	19.03, 80.56	Ms = 5,3	33	$4,8 \cdot 10^{24}$ din.cm	CMT
24	27.06.1995	18.50, 81.73	Ms = 5,6			CMT
25	01.08.2003	19.31, 76.40	mb = 4,7	10		NEIC

Nota: \* Solución conjunta.

El terremoto del 19.02.1976 (Fig. 8.6) ( $M_s = 5,7$ ,  $h = 15$  km.,  $I_0 = 8$  grados MSK) fue sentido en una amplia área de la US Oriental y en la vecina isla de Jamaica (al otro lado de la fosa) con  $I_0 = 5$  grados. Según Álvarez *et al.* (1985) la zona de ruptura del foco es de 30 km a partir del epicentro y hacia las réplicas (al oeste). Las intensidades mayores fueron reportadas en las inmediaciones de la zona de réplicas. Esta situación se apreció, previamente, con el sismo de Guatemala del 04.02.1976 (Espinosa *et al.*, 1976), pero fue Bouchon (1980) quien explicó que las amplitudes de las ondas sísmicas producidas, en las inmediaciones del foco de un terremoto, por una falla transcurrente se caracterizan por una importante dependencia azimutal y, en consecuencia, hay una liberación energética máxima en la dirección de la propagación de la ruptura, donde las amplitudes de las ondas son mayores. El mecanismo focal del sismo es transcurrente sinistroso y el de las dos réplicas más fuertes (días 23 y 24.02) indica falla normal en dirección NO y buzamiento al sur en el plano transcurrente E-O (Álvarez *et al.*, 1985).

Para este segmento litosférico, el evento más fuerte registrado es el del 25.05.1992 (Fig. 8.5) y ha sido estudiado por el NEIC, el CMT (Universidad de Harvard), Vireux *et al.*

(1992), Perrot *et al.* (1997) y Cotilla (1998). La  $I_{max}$  reportada es 7 grados MSK (Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, 1992) (Fig. 8.6). Este terremoto tuvo 14 réplicas en dos días. La zona de ruptura alcanzó 30 km desde el epicentro a la zona de réplicas (19,475 N, 77,430 O;  $m_b=4,4$ ) y el sentido de la ruptura fue hacia el este. Luego, los eventos de 1976 y 1992 tienden a romper en sentido contrario pero convergiendo hacia la misma zona, Cabo Cruz.

Coincidimos con Perrot *et al.* (1997) en dos aspectos: 1) las soluciones de los mecanismos focales del NEIC (deslizamiento lateral a la derecha) y del CMT (desplazamiento lateral sinestroso en un plano N68E y buzamiento al norte de  $43^0$ ), para el evento del 25.05.1992, no se corresponden con las características tectónicas de la zona; 2) la solución obtenida por (Vireux *et al.*, 1992), plano nodal N85E y buzamiento al norte de  $47^0$ , aunque más adecuada no es suficiente.

La localización del terremoto del 07.07.1852 ( $M_s=7,8$ , 19,3 N y 79,5 O) en la parte occidental de la microplaca Gonave, al oeste de Cabo Cruz coincide aproximadamente con la del evento no. 12 de la tabla, y como ambos tienen una magnitud elevada, supondremos tienen el mismo mecanismo focal. También el mecanismo no. 7 es muy similar a los nos. 21, 23 y 24, mientras que el no. 8 difiere de los nos. 17 y 18. La solución no. 8 es poco fiable según sus autores y dado que no se corresponde tampoco con los datos de microtectónica en principio se desestima. En general, los datos de microtectónica se corresponden muy bien con los mecanismos focales nos. 9, 10, 15-18, 20 y 22 de la tabla.

El elevado número de terremotos registrados (por la red cubana) en el período 1979-1994 para el segmento central de la US Suroriental (Fig. 8.3) se justifica por la compresión NE ( $\sigma_1$ ) de la placa Caribe (Cotilla, 1993) (Fig. 8.7). Esta compresión también explica los eventos fuertes. Mientras que la muy baja densidad de epicentros (1979-1994) en el entorno de Pílon (aproximadamente 40 km, Punta Monje-La Plata), reconocible tanto por los datos de la red cubana como por la internacional, puede ser explicada a partir del proceso de liberación de energía y de ruptura del año 1976. En este sentido, para el sector del este de la bahía de Guantánamo (Guantánamo-Purial) puede asumirse también una explicación similar.

### **c) Catálogos de terremotos y de tsunamis**

Para el establecimiento más correcto de los acontecimientos históricos debemos señalar que la primera colección ordenada de datos de terremotos para el Caribe se adjudica a Lyconthenes (1607) y Zahn (1696). Esos autores sintetizaron cronológicamente las muy diversas notas, referencias y comunicaciones que sobre terremotos existían hasta entonces en forma dispersa e inconexa. Mientras que los primeros catálogos de terremotos de Cuba fueron preparados por Poey a mediados del siglo XIX y comprendían el período 1551-1857 (ver capítulo 6). Sobre esa base Salterain (1884) publicó un trabajo que incluyó los terremotos ocurridos en Cuba hasta el año 1884. También Montessus de Ballore (1924) recoge en su libro eventos sísmicos del período 1851-1923 del área caribeña y algunos de Cuba en particular. Después de 1963 se han preparado varios catálogos de terremotos (Chuy y González, 1980; Chuy *et al.*, 1980, 1983a, 1984, 1988, 1988a; Chuy y Pino, 1982; Chuy, 1982; González y Chuy, 1983; Orbera *et al.*, 1990; Álvarez *et al.*, 1993, 1999; González *et al.*, 1994). Sin embargo,

ninguno de ellos tiene una evaluación de la calidad y fiabilidad de los datos y estimaciones (Cotilla, 1993).

Aunque la sismicidad de Cuba no es la mayor del área del Caribeña (Álvarez *et al.*, 1985; 1990), destaca el hecho, ya analizado en el capítulo 4, que fue en ella donde se confeccionó el primer catálogo [en el sentido estricto del término] (Poey, 1855a,b; 1857). Obsérvese que esto se consiguió en España poco menos que ocho años antes (Perrey, 1847). Los trabajos de Poey han sido sostén y punto de partida, incluso en la actualidad, de muchos otros catálogos del Caribe y de todos los de Cuba (Cotilla, 1998).

Las investigaciones de campo en el contexto del terremoto de San Cristóbal realizadas por Viñes y Salterain (1880) contienen una descripción rigurosamente detallada de los daños producidos y un análisis muy interesante del contexto tectónico en que aconteció el siniestro. En líneas generales ese trabajo recuerda a los estudios del terremoto de Italia [16.12.1857]. Este fue el primer ensayo científico en el Caribe que utilizó la teoría de región focal propuesta cinco años antes por E.Suess (Cotilla, 1995). Mientras que Pedro Salterain y Legarra indicó, por primera vez, en el año 1884 que la mayor sismicidad de Cuba se localiza en la provincia oriental (Santiago de Cuba) y que en la costa norte y la parte central de la isla han estado sin información de perturbaciones sísmicas durante cuatro siglos (Montoulieu, 1933).

El autor ha localizado un documento de no poco interés para Cuba, ya que muestra una evaluación cuantitativa preliminar [quizás la primera] de su sismicidad y que fue realizada por Montessus de Ballore (1894). Ese científico francés estableció una gradación de 24 niveles para catalogar la sismicidad de España y sus Colonias, correspondiendo los lugares 12, 16 y 20 a los territorios de Cuba Oriental, Cuba Central y Cuba Occidental, respectivamente. Puerto Rico ocupó el lugar 3. Esto se ajusta perfectamente con lo aquí expuesto.

La ocurrencia de tsunamis en el Caribe es un hecho que se evidencia con informes que abarcan el período 1692-1946. En el catálogo de Rubio (1983) hay un total de 16 tsunamis asociados a terremotos, siendo reconocido como el del 04.08.1946 ( $M_s= 8,1$ ) del noreste de La Española como el más fuerte. Pero, la probabilidad de tsunamis en Cuba es muy baja, dado los mecanismos focales determinados y la disposición de las estructuras sismogénicas submarinas de las zonas que la rodean. En la página web (<http://www.ineter.gob.ni/geofisica/tsunami/tsu-caribe-list.html>) hay una relación de 38 tsunamis producidos en el Caribe, tomada del *Caribbean Tsunami Awareness, Florida Inst. Technology, Univ. Publ.* EN-158-399. Del total de los eventos hay tres en los que se indica a Cuba (años: 1755, 1775 y 1932). Y en la tabla 8.3 aparecen los 5 reportes de Cuba de acuerdo con Rubio (1983) (Fig. 8.8). Como una nota curiosa se indica que el tsunami producido por el terremoto del 01.11.1755 en Lisboa fue percibido en Santiago de Cuba. Posteriormente, Grases (1990) y Lander *et al.* (2002) han publicado otros catálogos.

Tabla 8.3.- Selección de tsunamis de acuerdo con Rubio (1983).

No.	Fecha	Lugar	Comentarios
1	1755.01.11	Santiago de Cuba	Terremoto de Lisboa
2	1852.07.17	Santiago de Cuba	
3	1931.10.01	Playa Panchita, Rancho Veloz (Las Villas)	
4	1932.02.02	Santiago de Cuba	
5	1939.08.15	Cayo Francés	

## c.1 Catálogo de Poey

Andrés Poey no utilizó como base para la confección de sus trabajos las compilaciones y catálogos que para el Caribe habían preparado Lycosthenes (1607), Zahn (1696) y Southey (1827). Tampoco recurrió a los manuscritos del Archivo de Indias. Poey reconoce explícitamente que se fundamentó en las obras de Mason (1822, 1829) y Perrey (1843, 1845, 1856) y en este sentido dice: ...”*me enorgullezco de haber publicado para la isla de Cuba, y que es el único que la ciencia posee hasta ahora*”...

Insistimos en que la catalogación de sismos históricos, el caso que nos ocupa, es una tarea inacabable. Después de los primeros estudios del siglo XIX y que hoy continúan, se conoce que la publicación de un catálogo de sismos históricos que contenga las hipótesis de unos parámetros definitorios, no es en absoluto definitivo. Ellos son piezas de trabajo que se someten como anteproyectos a la tarea de exhaustivas revisiones. Y consecuentemente deben contener una clasificación sobre el grado de fiabilidad de cada terremoto. Esto lo hicieron por primera vez, para Cuba, Cotilla y Udías (1999).

Los terremotos del catálogo de Poey (Tabla 8.4) aparecen aquí en una tabla de 85 filas y 7 columnas. En realidad el catálogo contiene 86 sismos, pero se ha excluido al de Lisboa de 1755. Los terremotos están ordenados de arriba hacia abajo (columna primera) de acuerdo al crecimiento de la fecha. De ellos, 78 (90%) tienen consignados año, mes y día; 75 (89%) poseen mes y día. Estas cifras son aceptables para una reconstrucción histórica. La tercera columna indica la localidad a que fue asignado el terremoto. A Santiago de Cuba corresponden 54 terremotos (64%). La siguiente columna indica cómo utilizó y valoró T.Chuy a los catálogos de Poey. Se escogió a ese autor por ser quien más se ha centrado en las investigaciones macrosísmicas de Cuba. La quinta y sexta columnas, Índices y Clasificación, califican por los criterios de Cotilla y Udías (1999) a cada uno de los eventos sísmicos. La columna Índices tiene seis elementos (F= fecha, T= tiempo, F= fuentes, V= versiones, I= intensidad, I= isosistas). La fecha tiene tres posibilidades (A= año, mes y día; B= año y mes; C= año); el tiempo tiene cuatro posibilidades (A= hora, minuto y segundo, B= hora y minuto, C= hora, D= -); las fuentes tienen dos posibilidades (A= sí, B= no); y las isosistas dos posibilidades (A= sí, B= no). Y la columna Clasificación tiene cinco posibilidades (E= excelente, MB= muy bien, B= bien, R= regular, M= mal). Y la última columna tiene indicados los datos de Álvarez *et al.* (1999) para cada uno de los terremotos.

El resultado de la clasificación cualitativa del catálogo de Poey arroja que:

- 1- Sólo 3 terremotos tienen clasificación de MB (3,6%)
- 2- Diez terremotos poseen característica de M (12%)
- 3- Hay 3 terremotos caracterizados como R (3,6%)
- 4- El resto, 69 terremotos, se conceptúa B (81%).

Aproximadamente el 84% del catálogo tiene calidad igual o mayor que el nivel B. Es evidente que este material adolece de imprecisiones, no poco importantes, en cuanto a la ocurrencia del terremoto (localización epicentral). En este sentido sabemos que en las inmediaciones de Santiago de Cuba hay otras áreas con un importante nivel de actividad sísmica propia como Jamaica, Islas Caimán, Haití (parte norte: Cabo Haitiano; parte sur: Enriquillo-Cul de Sac) y República Dominicana y que pueden haber contaminado el catálogo y en consecuencia atribuirle terremotos a Santiago de Cuba cuando efectivamente pueden ser de otras zonas. La ocurrencia de terremotos en localidades de Cuba Oriental, que no son las del sur (entender Bartlett – Caimán=

Oriente) pueden también haber contaminado al catálogo. Éste es, entre otros, el caso del terremoto del 17.01.1930 de la localidad de Pedregoso – Maffo, cercana a Santiago de Cuba, que produjo fuertes estremecimientos en la ciudad (Montelieu, 1933). También hay que considerar el tema del poblamiento de la isla (Fig. 4.1) y la atención que se prestaba a los terremotos. Así, los eventos del siglo XVI sólo tienen año, mientras que los del XVIII, en general, tienen año, mes y día.

### c.1.1 Catálogos de Salterain y de Montelieu - Morales

En esta parte se presentan (Tabla 8.5) los terremotos que, con posterioridad a los relacionados en el catálogo de Poey, los especialistas Pedro Salterain y Eduardo Montelieu y Luis Morales y Pedroso describieron en sus respectivos catálogos. No se incluyen las réplicas del terremoto de 1932.

Tabla 8.5.- Parte del catálogo de Montelieu-Morales sin incluir los datos de Poey.

Nº	Fecha	Hora	Lugar
1	1835		Pinar del Río
2	04.1857	05:30 p.m. (local)	Santiago de Cuba
3	01.1858	05:00 p.m. (local)	Santiago de Cuba
4	04.1860	05:30 p.m. (local)	Santiago de Cuba
5	04.1861		Santiago de Cuba
6	08.1862		Santiago de Cuba
7	22.01.1880	11:05 p.m. (local)	Pinar del Río (San Cristóbal – Candelaria)
8	24.12.1912		Santiago de Cuba
9	27.02.1914		Gibara – Holguín
10	29.02.1914		Gibara – Holguín
11	03.08.1926		Manzanillo
12	20.04.1929		Santiago de Cuba
13	17.01.1930		Maffo – Pedregoso (Oriente)
14	03.02.1932	06:16:03 UT	Santiago de Cuba

### c.2 Evaluación de los catálogos

Con independencia de que exista un trabajo sistemático para la completitud de los catálogos de terremotos es importante para los estudios de sismotectónica y de riesgo sísmico que estos materiales se homogeneicen e incluyan entre otros aspectos: la fuente del dato, las modificaciones sucesivas de la información, una escala de errores, etc. Como se verá a continuación los catálogos cubanos adolecen de estos aspectos, amén de las no pocas y reiteradas modificaciones. Se indica que los terremotos 9 y 14 (de la tabla anterior) tienen isosistas de Gutiérrez Lanza y Montelieu, respectivamente.

#### c.2.1 Para la parte occidental

Para la región Occidental de Cuba, en un período de 14 años (1980 - 1994), se han preparado un total de seis catálogos de terremotos (Chuy y González, 1980; González y Chuy, 1983; Chuy *et al.*, 1988; Orbera *et al.*, 1990; González *et al.*, 1994; y Chuy *et al.*, 1983), los que aquí serán denominados como (1), (2), (3), (4), (5) y (6) respectivamente. Ellos varían mucho en cuanto a datos y han sido utilizados para estudios de la peligrosidad sísmica y el riesgo sísmico. Se incluye otro catálogo, el número (7) de (Chuy *et al.*, 1980), del que sólo interesa la parte de Cienfuegos (Fig. 8.9).

Seguidamente se da un resumen del análisis inicial y general de esos siete catálogos:

a) los catálogos (1), (2), (3), (6) y (7) se han elaborado en el marco de dos temas (o proyectos) de investigación: el 310.01 (quinquenio 1981-85) y el 430.03 (quinquenio 1986-90). En todos ellos el método aplicado ha sido la revisión de prensa y publicaciones, pero en el segundo tema hubo recorridos por las zonas afectadas por los terremotos. Los catálogos (4) y (5) se prepararon (en un período de un año aproximadamente) con el objetivo específico de realizar investigaciones sismológicas para proyectos especiales (emplazamientos de la industria nuclear) tomando como base los tres primeros. Sin embargo, ellos demuestran una notable modificación de muchos de los parámetros de los eventos sísmicos a pesar del muy poco tiempo dedicado a la actividad; b) las provincias (de acuerdo con la actual división político-administrativa, Fig. 8.13) son por catálogo: (1), (3) y (4) - Pinar del Río, La Habana, Ciudad de La Habana y Matanzas; (2) - Pinar del Río; (5) - Pinar del Río, La Habana, Matanzas, Las Villas, Cienfuegos, Sancti Spiritus, Ciego de Avila, Camagüey y Tunas; (6) - La Habana, Ciudad de La Habana y Matanzas; (7) - Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spiritus; c) en ninguno de los siete casos ha existido un procesamiento estadístico, sólido, de la información recopilada y tampoco una valoración ingeniero-geológica; d) la fiabilidad de los reportes de sismos históricos (prensa y publicaciones y de recorridos retrospectivos) es por lo general baja; e) existen dudas con relación a la fiabilidad de las reconstrucciones (posteriores al terremoto) de los efectos producidos por los sismos en la medida que ellas se realizan en días, meses y años subsiguientes; f) hay muy pocas isosistas pero todas muestran demasiada homogeneidad; y g) los especialistas T. Chuy y B. González son autores de todos los catálogos.

El análisis que aquí se realiza es esencialmente cualitativo y sobre la base de los parámetros que aparecen consignados en los catálogos, como: 1) existencia o no de datos instrumentales; 2) fecha, precisión hasta año, mes o día; 3) hora de origen, precisión hasta hora, minuto, o segundo; 4) profundidad por: datos instrumentales, macrosísmicos o ambos; o no existe determinación; 5) intensidad máxima reportada; 6) tipo de dato: prensa y crónicas, inspección después del terremoto, encuesta retrospectiva; 7) número de localidades que reportan el terremoto; 8) existencia o no de mapa de isosistas.

De emplear la lógica, será el catálogo más reciente (González *et al.*, 1994) designado como (5) el más completo y fiable; no obstante, para comparaciones se escogió el catálogo (3). El catálogo (5) tiene 266 eventos y 11 mapas de isosistas; de éstos sólo uno pertenece a la región de estudio (Torriente-Jagüey Grande) y su forma (Fig. 8.10) es muy diferente de la original de 1983 (Chuy *et al.*, 1983a) (Fig. 5.6). Al respecto de la fiabilidad de los nuevos datos de Orbera *et al.* (1990) que modifican las isosistas el autor tiene grandes dudas, ya que recorrió los poblados, en los días inmediatos posteriores al sismo de 1982.12.16 y no hubo la más ligera indicación de perceptibilidad por los pobladores, que ahora indican Orbera *et al.* (1990). Mientras el catálogo (3) [de una región menor en área] tiene 88 eventos y dos isosistas (años 1880 y 1982) para Cuba Occidental. La figura de la segunda isosista se mantiene igual que como apareció en el trabajo original de 1983 y la del 1880.01.23 ha sido presentada, sin cambios, en todos los trabajos hasta que también fue muy modificada por Orbera *et al.* (1990).

Una muestra estadística de la cantidad de eventos reportados (con su máxima intensidad MSK) en los catálogos (3 y 5) se da en la tabla 8.6. Y las características temporales de estos dos catálogos son recogidas en la tabla 8.7.

Tabla 8.6.- Comparación de los datos de dos catálogos de T.Chuy.

I (MSK)	?	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0
No. Eventos (Catálogo 3)	23	18	1	26	-	17	-	2	-	1
No. Eventos (Catálogo 5)	29	57	16	103	15	32	2	8	1	1

Tabla 8.7.- Datos temporales de los dos catálogos de T.Chuy aquí analizados.

Eventos en:	Sin Información de				Con Información de
	Mes	Día	Hora	Hora y Minuto	Hora - Minuto - Segundo
Catálogo (3)	22	29	57	57	-
Catálogo (5)	91	122	137	158	14

Estas informaciones permiten concluir que además de los siete apuntes iniciales al conjunto de siete catálogos, para estos dos [(3) y (5)] se cumple que: 1) la fiabilidad de los reportes no es alta; 2) no existe un completamiento de los eventos por intensidad; 3) los datos deben ser empleados con cuidado para trabajos de sismotectónica.

### c.2.2 Para la parte oriental

A continuación se presenta, en la tabla 8.8, el resultado de un análisis somero sobre la completitud de la información de los terremotos ocurridos en Santiago de Cuba atendiendo a cinco parámetros tomando como ejemplo el catálogo de Chuy y Pino (1982).

Tabla 8.8.- Datos de los terremotos para Santiago de Cuba.

I (MSK)	Con Información de					
	Año	Mes	Día	Hora	Minuto	Segundo
9	2	2	2	2	2	0
8	8	8	6	4	4	0
7	10	8	8	6	6	0
6	19	19	19	18	18	0
5	71	71	71	59	58	0

La información contenida en los catálogos cubanos ha variado en no pocas ocasiones sin explicación. Por ejemplo, según Chuy (1982) el terremoto del 1842.05.07 fue de 8 grados de intensidad sísmica (MSK) en Baracoa. También en Chuy y Pino (1982) aparece textualmente lo mismo. En Chuy y Rodríguez (1980) se presentó por primera vez ese evento para las estimaciones de peligro sísmico. En Chuy, González y Vorobiova (1984) se reiteró la ocurrencia y los daños. Sin embargo, en el catálogo de Álvarez *et al.* (1993), del cual T.Chuy es autor, no aparece. Lo cual es difícil de entender, por el autor, dada la ausencia de algún comentario al respecto del cambio de postura.

Seguidamente se presenta la tabla 8.9 donde se incluye la cantidad de eventos sísmicos por intensidad para tres períodos diferentes y sólo para Santiago de Cuba contenidos en los catálogos de Álvarez *et al.* (1993) [A] y Chuy y Pino (1982) [Ch]. La cantidad de eventos difiere, ya en aumento o disminución, y no hay comentarios al respecto en Álvarez *et al.* (1993). Interpretando los datos y las diferencias es posible suponer, entre otros, que: **1-** la actividad sísmica disminuyó; **2-** hubo sobrestimación en las descripciones iniciales; **3-** hay combinación de los dos puntos anteriores; **4-** estén por acontecer eventos sísmicos. Cotilla (1993) señaló para La Española y Jamaica una situación similar.

Tabla 8.9.- Resumen del análisis por período para los catálogos de Santiago de Cuba, según dos fuentes.

Periodo								Intensidad (MSK)
1492 -1800		1800-1932		1932-1998		1492-1998		
Ch	A	Ch	A	Ch	A	Ch	A	
1	1	1	1	-	-	2	2	IX
4	3	3	1	1	1	8	5	VIII
4	5	6	7	1	1	11	13	VII
1	1	7	14	11	1	19	16	VI
<b>10</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>22</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>40</b>	<b>36</b>	

Álvarez *et al.* (1999) ha preparado un nuevo catálogo que extienden hasta el año 1995. Baste indicar que en ese material se continúan incluyendo los datos del evento de 1766 de Zapata y Chuy (1992). También Chuy es autor del catálogo mencionado, sin embargo en su tesis por la obtención del grado de doctor (Chuy, 1999a) presentó una tabla con 28 terremotos, concretamente su tabla 2.11 (Terremotos fuertes reportados en Cuba). En ella se aprecia que incluyó uno más (1752.10 con  $M=5,8$  e  $I=7$  MSK, en Santiago de Cuba), y varió: 1) las magnitudes de 17 de los eventos, 2) las coordenadas epicentrales de 13, y 3) la profundidad de dos. Todo esto sería aceptable, como derecho de autor, siempre y cuando se indique el porqué de los cambios, cosa que en parte alguna de la tesis expone.

Por último, como una observación de carácter general para el territorio de Cuba está el hecho de que hasta el momento no se han determinado deformaciones sísmicas en el terreno. Esta situación ha sido inicialmente abordada por Cotilla y Franzke (1994) en las áreas e inmediaciones donde se han producido los terremotos más fuertes. Sin embargo, los resultados no son satisfactorios ni definitivos.

### c.2.3 Del catálogo de Álvarez *et al.* (1999)

Con anterioridad hemos mencionado el catálogo de Álvarez *et al.* (1999) que fue preparado y publicado en Trieste, Italia. En la tabla 8.10 expondremos algunos otros comentarios al respecto de este importante trabajo.

Tabla 8.10.- Resumen del análisis del catálogo de Álvarez *et al.* (1999).

No	Comentarios					
1	Tiene un total de 9.241 terremotos					
2	Comprende el período 1502-1995					
3	Está definido para las coordenadas: 16° N / 24° N, -67° O / -86° O					
4	800 eventos no tienen determinaciones de magnitud					
5	Todos los eventos tienen coordenadas en cuanto a latitud y longitud					
6	Las cantidades de terremotos por rango de magnitud y período son las siguientes:					
	<b>M</b>	<b>1502-1580</b>	<b>1615-1693</b>	<b>1701-1793</b>	<b>1800-1899</b>	<b>1900-1995</b>
	≥8,0	-	-	-	1	1
	≥7,0	2	4	3	7	12
	≥6,0	4	8	11	14	33
	≥5,0	7	13	22	36	163
7	Las cantidades de terremotos sin tiempo determinado son las siguientes:					
	<b>1502-1580</b>	<b>1615-1693</b>	<b>1701-1793</b>	<b>1800-1899</b>	<b>1900-1995</b>	
	6	13	24	44	232	
8	Los terremotos para el período 1900-1990 sin información de profundidad son:					
	1900-1909	7				
	1910-1919	25				
	1920-1929	23				

	1930-1939	39
	1940-1949	37
	1950-1959	44
	1960-1969	40
	1970-1979	310
	1980-1989	389
	1990	1194
9	Modifican el tiempo de origen y las coordenadas para los terremotos del: 1) 28.02.1914= 05:03:21 y 18.00°N, -67.00° O; por 05:19:00 y 21.30°N, -76.20° O del <i>British Association for the Advancement of Science – Seismological Committee</i> 2) 03.02.1932= 06:16:03 y 19.7° N, -75.5° O del <i>International Seismological Summary</i> por 06:15:55 y 19.75°N, -75.58° O 3) 07.08.1947= 00:40:03 y 19.8°N, 75.8° O del <i>U.S. Coast and Geodetic Service</i> por 00:40:20 y 19.90° N, -75.30° O	
10	Modifican los datos de magnitud y coordenadas de Pacheco y Sykes (1992) para el los terremotos del: 1) 01.01.1910: Ms= 7,3 por Ms= 7,40; 2) 20.02.1917: 19.50° N, -78.50° O por 19.00° N, - 80.00° O	

#### d) Mapa sismotectónico de Cuba

La utilidad teórica y práctica de un mapa sismotectónico (MS) para las investigaciones de peligro sísmico es incuestionable (Gubin, 1990), aunque no hay un único procedimiento metodológico para su confección. Son pocos los países que disponen de un material de este tipo, ya que mucho influye el alto coste de las investigaciones.

Un MS es un ente cartográfico de tipo sismológico. Este material científico se considera aún un tema abierto, no definitivo, y en consecuencia debe ser revisado y enriquecido sistemáticamente. Así, transcurridos doce años de la presentación del primer MS de Cuba es importante hacer un balance de su actualidad.

Atendiendo a su contenido, el MS de Cuba (Fig. 3.6) no es un mapa de peligrosidad sísmica ni de riesgo sísmico, sino que puede ser utilizado para esos temas. En este sentido, contiene toda la información necesaria y contrastada de tipo neotectónico y sismológico. Las zonas sismogeneradoras [o sismogenéticas] son el aspecto fundamental del MS. Una zona sismogeneradora es la que posee características de tipos geológico, geomorfológico y geofísico no regulares, pero sí homogéneas para la escala de trabajo, que justifican y hacen relacionarlas con la ocurrencia de terremotos en sus inmediaciones (Buné *et al.*, 1971; Krestnikov, 1987). Esas zonas del MS de Cuba tienen una asignación de magnitud máxima (M<sub>máx</sub>) sobre la base de una clasificación en cinco categorías (Cotilla y Álvarez, 1991).

La ocurrencia reciente de terremotos es el principal índice para comprobar la validez del MS. En ese sentido, en la tabla 8.11 hay doce eventos sísmicos (Fig. 8.11) [nos. 1-9 y 12 de la red internacional, nos. 10 y 11 de la red cubana] ocurridos con posterioridad a la presentación del mapa.

La magnitud de los nueve sismos está por debajo del estimado de M<sub>máx</sub> de las zonas sismogeneradoras a las que se han asociado. Los eventos nos. 2, 4 y 9 se determinaron en intersecciones de zonas de fallas [nudos sismoactivos], lo que evidentemente demuestra una de las hipótesis del mapa. Únicamente los eventos sísmicos de la Unidad Suroriental tienen soluciones de mecanismo focal. Ellos se han obtenido por medio del CMT y del trabajo de Perrot *et al.* (1997). Las soluciones mencionadas se relacionan

con la zona sismogeneradora Bartlett-Caimán [categoría 1] (Cotilla, 1998). Inclusive los mecanismos presentados por Moreno (2002) no modifican las apreciaciones del autor.

Tabla 8.11.- Selección de terremotos recientes en Cuba.

Nº	Fecha	Unidad Sismotectónica	Intensidad (MSK)	Magnitud	Zona sismogeneradora
1	22.05.1990	Suroriental	VIII	Ms = 5,2	Bartlett-Caimán
2	26.08.1990	Suroriental		Ms = 5,9	Bartlett-Caimán
3	04.09.1990	Suroriental		Ms = 5,2	Bartlett-Caimán
4	25.05.1992	Suroriental	VII	Ms = 6,9	Bartlett-Caimán
5	01.08.2003	Suroriental		Ms = 4,7	Bartlett-Caimán
6	22.11.2003	Suroriental	VI	Ms = 4,6	Bartlett-Caimán
7	20.03.1992	Oriental		Md = 4,23	Nortecubana
8	28.12.1998	Oriental		Ms = 4,6	Nortecubana
9	13.10.2003	Oriental	IV	mb = 4,4	Baconao ?
10	24.09.1992	Occidental			Nortecubana
11	09.03.1995	Occidental	V	Ms = 2,5	Habana- Cienfuegos
12	10.10.2003	Occidental			mb = 4,4

La estructura sismogénica Nortecubana [límite norte del megabloque cubano] se distingue con tres eventos, todos en la parte marina. Uno de esos terremotos está en la US Occidental y los otros son de la US Oriental [sector más activo]. Esto se corresponde con lo esperado, ya que su categoría es de segundo orden. Además, demuestra la hipótesis de Cotilla *et al.* (1991) en cuanto a la localización del mayor nivel de actividad sísmica en la parte oriental de la zona sismogeneradora Nortecubana.

#### d.1 Zona de entreplacas

La US Suroriental se subdivide, principalmente, en tres sectores, Occidental (Cabo Cruz-Pilón), Central (Pilón-Baconao) y Oriental (Baconao-Maisí) (Fig. 8.2). Esta propuesta se corresponde, aceptablemente, con la diferenciación estructuro-tectónica de Cuba Sudoriental de Hernández *et al.* (1986). El sector Occidental posee en su extremo oeste una densidad grande de epicentros, que se justifica por la triple intersección de las fallas BC (Oriente), SC y CN. En él se produjeron los fuertes terremotos del 26.08.1990 (Ms= 5,9) y del 25.05.1992 (Ms= 6,9). Las isosistas (una mitad) para este último evento sísmico del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (1992) (Fig. 8.4) indican la canalización de la energía en la dirección de Cauto-Nipe (hacia el NE). El otro extremo, Pilón, tuvo un fuerte sismo el 19.02.1976 (Ms= 5,7). Sin embargo, ahí la densidad de epicentros es mucho menor y la disposición de los epicentros es prácticamente paralela a la costa. El sector Central tiene la mayor densidad de epicentros de la región suroriental, y en su extremo oriental se produce un importante nudo entre las fallas Oriente y Baconao. Al segmento oriental de este sector se han asociado entre otros los terremotos del 03.02.1932 (Ms= 6,75) y del 07.08.1947 (Ms= 6,3), y el conjunto de sus isosistas se extienden en la dirección NO (Álvarez *et al.*, 1985), que es la de la falla Baconao. Los terremotos del 12.06.1766 (Ms= 7,5) y del 20.08.1852 (Ms= 7,3) de  $I_0= 9$  grados MSK permiten asegurar, por sus efectos en la ciudad de Santiago de Cuba, que ellos tienen sus epicentros aquí. El sector Oriental en el extremo este de Maisí se caracteriza por una alta densidad de epicentros (distribuidos en un área grande) que se relaciona también a una triple intersección de las fallas: Oriente, NC y Septentrional de La Española (Pubellier *et al.*, 1991; Cotilla *et al.*, 1993). A partir de él y hacia el este, en el norte de La Española, la actividad sísmica se incrementa y la morfología de las fallas se modifica bruscamente (Cotilla *et al.*, 1993).

## d.2 Zona de interior de placas

En la zona de interior de placas de Cuba la tendencia de los especialistas había sido considerar a las fallas como estructuras homogéneas capaces de producir terremotos (Rubio, 1984). En la tabla 8.12 aparece una relación de esos trabajos, sus autores y el área de estudio (Figs. 4.13 y 8.12).

Tabla 8.12.- Resultados sismotectónicos en Cuba.

AUTORES	REGION DE ESTUDIO
Krestnikov,V.N.; Frend,V.M.; y Shebalin,V. (1983): Sobre la metodología de las investigaciones geológicas y sismológicas para el estudio de la peligrosidad sísmica. (en ruso). En: Investigaciones Sismológicas de las Zonas de Baja Actividad Sísmica. Editorial Nauka, Moscú, 81-85.	Cuba Central (desde el este de la falla Cochinos hasta la falla La Trocha)
Orbera (1983): Estudio sismotectónico de la región occidental de Cuba. En: Archivos de la Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica, Ministerio de la Industria Básica de Cuba, p.62. Chuy,T.; González,B. y Polo,B. (1988a): Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica de la región occidental de Cuba. Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, 4, p. 19. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba. Orbera,L; González,B; Chuy,T. y Oro,J. (1990): Investigaciones sísmicas en la región de emplazamiento del centro de investigaciones nucleares. Vol. 1. Sec. Ejecutiva para Asuntos Nucleares, Cuba, p.344.	Cuba Occidental (desde el Cabo de San Antonio hasta la falla Cochinos)
González,B. y Chuy,T. (1984): Actividad sísmica de la provincia Pinar del Río. Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba, 4:53-68. Instituto de Geofísica y Astronomía.	Cuba Occidental (desde el Cabo de San Antonio hasta el límite oeste de las provincias La Habana y Ciudad de La Habana)
Chuy,T.; González,B. y Vorobioba,E. (1984): Sismicidad del territorio de las provincias de Camagüey y Ciego de Avila. Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba, 5:61-94. Instituto de Geofísica y Astronomía.	Cuba Centro Oriental (desde la falla La Trocha hasta el oeste de la falla Cauto-Nipe)
González,B.; Chuy,T.; Alvarez,L.; Rubio,M.; <i>et al.</i> (1994): Estudio sismológico regional complejo de Cuba Centro Oriental para el emplazamiento de objetos nucleares. Informe Científico-Técnico, p. 91. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.	Cuba Centro Oriental (desde la falla Cochinos hasta la falla Cauto-Nipe)

Cotilla *et al.* (1993a) discuten exhaustivamente las metodologías de trabajo, los resultados alcanzados y las limitaciones de los estudios realizados entre 1983 y 1993. A raíz del terremoto del 16.12.1982 ( $M_s = 5,0$ ,  $h = 30$  km,  $I_0 = 6$  grados MSK) en las localidades matanceras de Torriente-Jagüey Grande, consideradas de sismicidad desconocida, pero muy baja, y sin ninguna complicación tectónica (Chuy *et al.*, 1983a) la hipótesis de la homogeneidad de las zonas sismogeneradoras se modificó en parte. Posteriormente algunos autores asumen la hipótesis de nudos sismoactivos (Ranstman, 1979), ya que las isosistas confeccionadas (Fig. 5.6) indican una canalización de la energía sísmica hacia Ciudad de La Habana (dirección NO), coincidente con un alineamiento determinado únicamente por teledetección, y una brusca atenuación de las intensidades hacia Cienfuegos (Chuy *et al.*, 1983a). El nudo se definió en la intersección del alineamiento Habana-Cienfuegos y la falla Cochinos (Fig. 8.13). Aquí apuntamos, nuevamente, que las isosistas de este terremoto fueron modificadas por

T.Chuy en Orbera *et al.* (1990), donde se pueden apreciar los trazos de perceptibilidad sobre el mar (Fig. 8.10). Esto último, es tremendamente erróneo.

Posteriormente, se propuso una diversa combinación de fallas y nudos para justificar la ocurrencia de terremotos en la US Occidental. Con ello Cotilla (1993) indicó un nudo entre la zona de alineamientos Habana-Cienfuegos y la falla Guane (Fig. 8.13), en las inmediaciones de San José de las Lajas en La Habana. El 09.03.1995 se produjo un evento de  $M_s = 2,5$  e  $I_0 = 5$  grados MSK (González *et al.*, 1995) sobre ese nudo con una canalización de la energía sobre la zona de alineamientos. Sin embargo, otros trabajos especiales dedicados al estudio de esa zona en particular como Orbera *et al.* (1990) no consideraron tal posibilidad.

En conclusión, a partir de los datos de sismicidad, mecanismo focal, neotectónica y microtectónica se infiere que Cuba está diferentemente afectada por los esfuerzos transpresivos en dirección NE-SO, resultantes de la interacción dinámica de las placas Caribe y Norteamérica. Estos esfuerzos se reflejan principalmente en las áreas de agrupación epicentral de las unidades sismotectónicas Suroriental y Oriental, donde hay intersecciones de fallas que acomodan los desplazamientos regionales y permiten distinguir sus heterogeneidades, como por ej. en Cabo Cruz, Pílon, Baconao y Maisí. La hipótesis de la ocurrencia preferente de los sismos en nudos de fallas activas para la unidad sismotectónica Occidental parece ser, hasta el momento, la más adecuada para explicar en mucho su sismicidad.

#### **e) Interpretación sismotectónica**

Resulta evidente, para el autor, que la interpretación sismotectónica de Cuba tiene que ser afrontada de forma diferente para las zonas con sismicidad de entreplacas y de interior de placas. Así, para la zona con sismicidad de entreplacas es posible establecer cierta correlación entre los terremotos (con sus mecanismos) y los datos de microtectónica, mientras que para la zona de interior de placa esto sólo se puede lograr en algunas áreas. En la figura 3.6 están representadas las 19 zonas sismogénicas del territorio cubano y en la tabla 8.13 aparecen sus datos principales (Cotilla *et al.*, 1993).

Las fallas CN y Baconao son elementos tectónicos de importancia para explicar la dinámica de la US Oriental. Ellas mantienen en la actualidad el trazo NE y NO, respectivamente, de los paleodesplazamientos ocurridos durante el proceso de formación de la fosa Bartlett-Caimán en el Eoceno Medio. El epicentro del 30.01.1924 ( $M_s = 5,6$ ) está, según Álvarez *et al.* (1985), en 20,0 N, 77,5 O. Esto es la parte emergida del entorno de Cabo Cruz, la US Oriental, por lo que puede ser asociado a la falla CN. Otro evento sísmico fuerte reportado en 1551 en la ciudad de Bayamo (ubicada sobre la cuenca de Cauto-Nipe) con  $I_0 = 8$  grados MSK confirma su sismoactividad. Con relación a esta cuenca, Bush *et al.* (1986) argumentan la existencia de un sistema de fallas profundas y un brusco acercamiento de Moho a la superficie (apenas a 10 km de profundidad). Esto puede, lógicamente, interpretarse como una zona tectónica transitoria que isostáticamente compensa a los bloques montañosos septentrional y meridional de las unidades neotectónicas occidental y oriental, aledaños a ella. Mientras que Mann y Burke (1984) y Cotilla (1993) suponen que la zona Cauto-Nipe es una cuenca de tipo *pull-apart* asociada a Bartlett-Caimán.



1994); 4) la configuración de las isosistas (Chuy *et al.*, 1988); 5) la distribución y la densidad de epicentros (Cotilla, 1993).

Con anterioridad, Molnar y Sykes (1969) señalaron que los azimutes de los vectores de desplazamiento para la zona Bartlett-Caimán muestran diferencias muy significativas en los segmentos Pacífico-Guatemala, Guatemala-Maisí {para Cotilla (1993) sólo Guatemala-Cabo Cruz} y este de Maisí {para Cotilla (1993) desde el este de Cabo Cruz}. En particular, los valores de los dos primeros son N40E y N30E, respectivamente. Sostenemos que esto es debido a una diferencia de velocidad relativa de movimiento de las placas Cocos y Caribe; mientras que las diferencias entre los segmentos de Guatemala-Cabo Cruz (con movimiento transcurrente sinestroso puro) y del este de Cabo Cruz (sobrecorrimiento al NE en un plano transcurrente sinestroso) se debe a una heterogeneidad lateral. Es decir, que para el segmento litosférico septentrional hay influencias tectónicas globales, regionales y locales. Jain (1971) supuso, parcialmente, estas observaciones y conclusiones a partir de una evaluación geodinámica preliminar. Esto se puede apreciar con los resultados recientemente alcanzados por autores norteamericanos (DeMets *et al.*, 2000) (Fig. 8.15).

Álvarez y Buné (1977) demostraron que para Cuba los procesos de liberación de la energía sísmica de la zona BC eran los más intensos, pero sujetos a intervalos temporales más o menos regulares a partir de la ocurrencia de un sismo fuerte y sus correspondientes réplicas, y que entre ese momento y el siguiente sismo fuerte la cantidad de energía liberada era de un nivel bajo pero constante. Cotilla (1993) después de apuntar la coincidencia espacial al sur de Santiago de Cuba de los sismos moderados ( $5,0 < M_s \leq 6,0$ ), fuertes ( $6,0 < M_s \leq 7,0$ ) y muy fuertes ( $7,0 < M_s < 8,0$ ) considera que todas estas características describen, cuantitativamente, el proceso de interacción dinámica entre las placas de Norteamérica y del Caribe y, en particular, entre la placa Caribe y la provincia sismotectónica Cuba. Además, señala que hay fluctuaciones regulares de la energía sísmica liberada en el lapso de tiempo entre eventos fuertes. Perrot *et al.* (1997) llega a conclusiones similares.

Del estudio de una serie de 29 terremotos ocurridos los días 17 y 18 de octubre de 1976 al sur de Cuba Oriental, Rubio *et al.* (1980) propusieron que el proceso de liberación característico de la energía, en este segmento límite de placas, es en etapas y no a través de un sólo evento. Por su parte, Chuy (1980) para el período 10.1968-12.1975 identificó seis zonas de agrupamientos epicentrales en el mismo segmento de placas. Sin embargo, sólo para dos de ellas pudo obtener los parámetros del régimen sísmico. Esas dos zonas tienen un mismo valor para la pendiente del gráfico magnitud-número de terremotos (de Gutenberg-Richter), pero el nivel de actividad sísmica es distinto. Mientras que Álvarez (1983) subrayó para toda la región suroriental de Cuba (Cabo Cruz-Maisí) tres cuestiones, muy importantes para nuestro análisis: 1) *que la estación sismológica RCC brinda buena cobertura, sólo, para la zona inmediatamente aledaña a Santiago de Cuba;* 2) *que el comportamiento temporal de los terremotos puede ser no uniforme, aunque difícilmente se pueda demostrar;* 3) *que la zona sismogénica Bartlett-Caimán puede ser no homogénea y que en las inmediaciones de Santiago de Cuba la actividad sísmica sea mayor.*

Asumiendo que el evento sísmico del 23.09.1887 no es del sur de Cuba, sino que su epicentro está en 19,4 N, 73,4 O (Álvarez *et al.*, 1993) se cumple que el intervalo temporal de los eventos con  $M_s \geq 6,9$  del sur de Cuba es aproximadamente 60-80 años.

Este valor se diferencia de los obtenidos por Álvarez (1983) para Santiago de Cuba (con 470 años de registro). Ese autor con dos valores de  $M_{max}$  ( $M_s = 7,5$  y  $M_s = 7,75$ ) estima que se pueden producir intensidades de 8 grados MSK con períodos de recurrencia de 110 y 100 años, respectivamente, mientras que los datos observados indican sólo 52 años. Posteriormente, Álvarez *et al.* (1991) proponen períodos de recurrencia de 64 años, que evidentemente está dentro de nuestro rango de valores.

Según Cotilla (1993) el régimen de esfuerzos transpresivos no está restringido al Cinturón Deformado de Santiago de Cuba, sino que se extiende a todo el borde sur de la US Oriental, incluida la zona de Cabo Cruz, aunque la tectónica superficial de la unidad mencionada indique transtensión (presencia de una cuenca tipo *pull-apart*, Cauto-Nipe). En este sentido, el trazo, aparentemente, discontinuo (a microescala) de la falla Oriente, dados sus diversos escalones laterales, acusa la presencia de distensiones y favorece la formación de pequeñas cuencas de este tipo, principalmente en el sector Central de Pílon-Baconao (más específicamente en Pílon, Portillo, Mota, Las Bijas y Santiago de Cuba) (Fig. 8.7) (Cotilla, 1993). El modelo de fallas de tijeras se ajusta a esta situación (Cotilla, 1993). Este efecto no excluye en absoluto la existencia de una componente regional transpresional a lo largo de la zona de falla Oriente, necesaria, obviamente, para explicar satisfactoriamente tanto las características tectónicas de la región como los mecanismos focales y la sismicidad. Anteriormente, Ushakov *et al.* (1979) asumieron la existencia una componente de subcorrimento con dirección S-N, incluido el segmento fosa Oriente-Sierra Maestra. Esta idea se fundamentó en dos cuestiones: 1) la distribución de las anomalías de la fuerza de la gravedad; 2) los estimados de desplazamiento al norte de la placa Caribe (0,3-0,4 cm/año). En otras palabras, esos autores consideraron la presencia de un campo geodinámico diferente al teóricamente esperado por Molnar y Sykes (1969) y Mann y Burke (1984) y que no puede ser explicado por mecanismo transcurrente puro. También Hernández *et al.* (1989) destacaron esta heterogeneidad geodinámica sobre la base de la cartografía de las morfoestructuras transverso-diagonales de la Sierra Maestra. Ellos sostienen que estas estructuras de la Sierra Maestra se articulan con las estructuras transversales de la fosa de Bartlett y de acuerdo al “principio del contraste creciente” (a una altura mayor se contraponen siempre una profundidad o depresión mayor) en un fondo de deslizamientos laterales débiles.

Los polos de rotación que justifican el movimiento relativo de la placa Caribe con relación a la placa norteamericana de (MacDonald, 1976; Minster y Jordan, 1978; Stein *et al.*, 1988) se localizan en ese orden a lo largo de una estrecha franja del margen oeste de América del Sur ( $-12^{\circ}$  S a  $-58^{\circ}$  S) y el determinado por (Sykes *et al.*, 1982) está en el hemisferio norte sobre los  $65^{\circ}$  N, pero en la parte este. Ellos permiten suponer una traslación lateral al este de la placa Caribe con ciertas áreas de solapamiento en el margen norte por convergencia (Heubeck y Mann, 1990). Cada uno de esos autores aporta sus matices a los modelos, pero queda claro que en las inmediaciones de Cuba Suroriental y al este de Haití (noreste de La Española) el área de cubrimiento coincide y hay una compresión NE.

De lo dicho anteriormente y utilizando: 1) la ubicación y las características de los terremotos fuertes del margen norte del Caribe de (Panagiotopoulos, 1995) podemos conformar dos ideas sismotectónicas básicas: a) los eventos (con  $M_s \geq 7,5$ ) están localizados sólo al este de Maisí (Fig. 8.16), donde hay una interrelación N-S océano-arco de islas; b) los eventos más fuertes aparecen en la parte septentrional del margen,

*donde la interacción es más compleja; 2) la ubicación del polo de rotación de la placa Caribe de Deng et al. (1995) es posible suponer a una escala más detallada que: a) la actividad sísmica será más intensa al este de Maisí; b) en la US Suroriental el sistema de fallas BC sea escalonado transcurrente sinestroso.*

De otra parte, los mecanismos focales de los terremotos superficiales de las fallas Swan y Oriente, al oeste de Cuba, permiten asegurar un desplazamiento lateral sinestroso en dirección E-O con planos de falla vertical para la dupla Norteamérica-Caribe. Sin embargo, este modelo sufre una importante transformación en las inmediaciones de Cabo Cruz donde hay combinación de falla transcurrente sinestrosa y de falla inversa con buzamiento al norte (Perrot *et al.*, 1997). A partir de aquí predomina la combinación de fallas transcurrentes sinestrosas e inversas (N30E-N130E) y los ángulos de buzamiento al norte de  $21^{\circ}$ - $70^{\circ}$ . Esto se puede explicar asumiendo la presencia de un contacto lateral transicional corto de corteza oceánica (centro de generación-Cabo Cruz) a corteza suboceánica (en el sur de Cuba) y la consiguiente interacción diferente de la periferia norte de la placa del Caribe con la parte meridional de la placa norteamericana, un bloque oceánico (hoya de Yucatán)-bloque insular submarino Caimán y un bloque emergido de corteza continental (la US Oriental). Este proceso de interacción dinámica tiene como reflejo en el relieve submarino y emergido un sistema de fallas transversales activas asociadas a BC, del tipo *flower structures* (Cotilla *et al.*, 1992).

El sistema de fallas de transformación BC (en sus sectores Swan y Oriente) tiene un comportamiento sísmico muy diferente con respecto a los sistemas transformantes oceánicos (Cotilla *et al.*, 1992; Perrot *et al.*, 1997). En estos últimos el deslizamiento de las placas es prácticamente asísmico, aunque con un alto nivel de calor liberado; mientras que para el sistema Caribe-Norteamérica hay una moderada y alta sismicidad y anomalías térmicas bajas. También las fallas de transformación en régimen oceánico tienden al deslizamiento lateral puro, pero en los arcos de islas y zonas continentales participan en el acomodamiento de las zonas divergentes y convergentes produciendo áreas transpresivas y transtensivas (Heubeck y Mann, 1990). Esa es la situación del Caribe.

Sobre la base de los mecanismos y la sismicidad en el borde suroriental de Cuba (con sus tres sectores) se pueden proponer las dos hipótesis sismogénicas siguientes:

- 1) El segmento de un sector que tuvo un terremoto fuerte permanece cierto tiempo en calma relativa, con muy baja actividad sísmica, incluso puede ser nula*
- 2) El segmento de un sector que tuvo un fuerte terremoto, pero que tiene como fuente la intersección de dos fallas (nudo), acusa siempre una densidad sísmica elevada.*

Un ejemplo que cumple la hipótesis 1) es el segmento del entorno de Pión (Punta Monje-La Plata); y la hipótesis 2) la cumplen los segmentos Punta Monje-Cabo Cruz, La Plata-Baconao y Purial-Maisí (Fig. 8.2).

#### **f) Diagnóstico de ocurrencia de terremotos**

Sin pretender algún efectismo científico, el autor asume el riesgo de interpretar algunos acontecimientos sismológicos acontecidos recientemente en la Unidad Sismotectónica Occidental y proponer un diagnóstico espacial de ocurrencia de un probable sismo. Este diagnóstico se proyecta en el marco de una zona de fallas que fue muy discutida y finalmente desestimada por la mayoría de los especialistas (Cotilla, 1998a). Esa extensa

zona de debilidad tectónica actual, que se localiza entre las bahías de Cienfuegos y de La Habana, se determinó, como se dijo antes, a raíz del sismo del 16 de diciembre de 1982 [Torriente-Jagüey Grande, Matanzas; I= VI (MSK) Ms= 4,7] con la ayuda de la Teledetección (Chuy *et al.*, 1983a). El autor le denominó Habana-Cienfuegos y por supuesto se incluyó, con todas sus consecuencias, en el MS de Cuba manteniendo la hipótesis de que buena parte de los eventos sísmicos se producen en sus intersecciones [nudos] con otras fallas.

Investigaciones de tipo sismotectónico de Orbera *et al.* (1990) realizadas en la región Occidental de Cuba, que incluye a la de nuestro diagnóstico, no sólo no consideran a la citada zona sismogénica, sino que descartan la ocurrencia de sismos en la cercanía de las localidades San José de las Lajas – Pedro Pí [sureste de la bahía de La Habana] (Fig. 8.16D) (Cotilla, 1998a). Sin embargo, poco tiempo después [03.09.1995] ocurrió un sismo en las inmediaciones de San José de las Lajas (González *et al.*, 1995). Esto, según nuestra posición, demostró que: 1) la zona Habana-Cienfuegos existe; 2) es activa; 3) el mecanismo generador fue en un nudo de fallas (Cotilla, 1998a).

La tabla 8.14 recoge ocho indicadores que caracterizan a los cinco nudos de la falla Habana-Cienfuegos. Su interpretación muestra que es el nudo 5 [de Ciudad de La Habana] el más importante. En la tabla 8.15 se resume la información inicialmente empleada. Y la intensidad del posible evento sísmico se puede conocer por la tabla 8.16.

Tabla 8.14.- Datos de los nudos de fallas.

Nudos de fallas	Cienfuegos (1)	Torriente – Jagüey Grande (2)	Güines (3)	San José de las Lajas (4)	Ciudad de La Habana (5)
Nº de años del último reporte	84	16	221	3	54
Total de eventos	3	7	1	3	18
Proporción de sismos con relación a la fecha de fundación del poblado / 1er reporte	0,01/0,02	0,02/0,16	0,002/0,005	0,006/0,03	0,04/0,06
Categoría del nudo morfoestructural	1	6	6	6	1
Categoría del nudo disyuntivo	1	2	2	2	1
Categoría de la falla	1	2	2	2	1
Categoría de la zona sismogeneradora	1	2	3	3	1
Categoría del contraste neotectónico	1	5	4	3	1

Tabla 8.15.- Decisión inicial sobre los nudos.

Orden por:	Nudos				
	1	2	3	4	5
Tiempo (años)	2	4	1	5	3
Cociente proporcional	2	5	3	4	1
Categorías	2	3	5	4	1
Total de índices	2	3	4	5	1
Suma de índices	9	14	14	17	6
<b>Apreciación final</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>1</b>

Tabla 8.16.- Decisión final sobre los nudos.

Nudo	Categoría por las estructuras que lo componen	Intensidades máximas (MSK) reportadas			
		6	5	4,5	4
1	1			1	2
2	2	1			2
3	2-3		1		
4	2-3		2	1	
5	1		3		6

Atendiendo a los datos, el evento de Ciudad de La Habana (**nudo 5**) (Fig. 8.17) puede ser de 5 grados de intensidad (MSK), pero al compararlo con el **nudo 2** [de menor categoría y actividad] es posible asumir, con cierto margen de certeza, un valor de 6. Este valor se justifica con la magnitud ( $M_s = 5,5$ ) prevista en el mapa sismotectónico de Cuba.

Es evidente la necesaria realización de investigaciones de tipo sismotectónico en Cuba con la correspondiente instalación de estaciones sismológicas y el completamiento de la red geodésica de alta precisión [en la Unidad Sismotectónica Occidental] que permitan sustentar más sólidamente este diagnóstico.

### g) Apuntes finales

De acuerdo con la figura 5 de LeRoy (1998) existen tres zonas de fracturas de dirección NO-SE, aproximadamente paralelas entre sí, aunque de longitudes diferentes en el Golfo de México. La zona de fractura central es la mayor, y aquí la denominaremos como L1. Ella se extiende desde el noroeste del Golfo de México hasta el occidente de la isla de Cuba. Esos sistemas tienen la función de acomodar a los mayores espesores de sedimentos por carga isostática

Mientras que el mapa con la sismicidad para el sector, antes mencionado, del Golfo de México ([http://neic.usgs.gov/neis/general/seismicity/us\\_east.html](http://neic.usgs.gov/neis/general/seismicity/us_east.html)) en el período 1977-1997 tiene siete terremotos (Fig. 8.18). Esos eventos se alinean en la vecindad y al norte de L1, y concretamente se localizan entre L1 y la zona de fractura que está situada más al norte. Hay información de un terremoto del año 2000 ( $M > 4,0$ ) para el Golfo de México ([www.eas.slu.edu/Earthquake\\_Center/FQHTML/ca00.html](http://www.eas.slu.edu/Earthquake_Center/FQHTML/ca00.html)). Es decir, que a esa zona de fracturas (L1) se pueden asociar terremotos.

Teniendo en consideración que el alineamiento Habana-Cienfuegos (HC) tiene también dirección NO-SE (se extiende entre las bahías de Cienfuegos y La Habana) y que ha demostrado actividad sísmica es factible vincularle con L1. De esta forma se comprende que no solo aumenta la longitud de la fractura sino que desde el punto de vista geodinámico tiene una nueva función.

Tabla 8.4.- Catálogo de Don Andrés Poey y Aguirre.

Nº	FECHA	LUGAR	CHUY [MSK]	ÍNDICES [F,T,F,V,LI]	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES	Catálogo de Álvarez et al. (1999)
1	1530	Cuba		C,D,B,2,B,B	M	Th.Tegg (1824) y W.Tegg (1854)	No
2	1551	Bayamo	[8]	C,D,B,4,A,B	M		20,40N, 76,60W, h=30 km, Mc= 5,80
3	1578	Santiago de Cuba	(Agosto) [8]	C,D,B,3,A,B	M		19,90N, 76,00W, h=30 km, Mc= 6,75
4	1624	Bayamo		C,D,B,2,B,B	M	Probable en Haití	octubre, 20,40N, 76,60W, h=15 km, Mc=5,20
5	1675.02.11	Santiago de Cuba	[7]	A,D,B,4,A,B	B	de la Sagra (1842, 1846) y de la Pezuela (1842)	19,90N, 76,00W, h=30 km, Mc=5,75
6	1677.02.11	Santiago de Cuba	[?]	A,D,B,3,B,B	B		20,02N, 75,84W
7	1678.02.11	Santiago de Cuba	[8] X, hora: 9-10	A,D,B,4,A,B	B	"El Gran Terremoto", Pezuela, 1863	14:59:00, 19,90N, 76,00W, h=30 km, Mc=6,75
8	1679.02.11	Santiago de Cuba		A,D,B,2,B,B	B		No
9	1682	Santiago de Cuba	[7]	C,D,B,3,A,B	M	de la Sagra (1846)	19,90N, 76,00, Mc= 5,75
10	1693	Habana	[?]	C,D,B,5,B,B	M	Mallet (1852-1854)	22,13N, 82,40W
11	1755.11.01	Santiago de Cuba	[4]	-	-	Portugal, Lisboa	No
12	1757.12.14	Santiago de Cuba	[6]	AB,B,2,A,B	B	11h 15m	16:44:00, 19,90N, 76,10W, h=30 km, Mc=7,50
13	1760.07.11	Santiago de Cuba	[8]	A,D,B,3,A,B	B		19,90N, 76,00W, h=30 km, Mc=6,75
14	1762.11.13	Santiago de las Vegas, La Habana	[4]	A,D,B,3,A,B	B	Perrey (1845) y Mallet (1852-1854). Afectó a 1500 casas	22,98N, 82,37W, h=10 km, Mc=3,10
15	1762	Santiago de Cuba	[8]	C,D,B,2,A,B	M		19,90N, 76,00W, h=30 km, Mc=5,75
16	1766.06.11	Santiago de Cuba	[9] 120 muertos y >600 heridos	A,B,A,7,A,A	MB	Archivo de Indias, 34-40 muertos y 700 heridos, 12 de la noche del 11-12/06. Sentido fuerte en Jamaica	1766.06.12, 05:14:00, 19,90N, 76,10W, h=30 km, Mc=7,50
17	1766.08.01	Santiago de Cuba	[?]	A,D,A,4,B,B	B	Archivo de Indias	20,02N, 75,84W
18	1766	Cuba	(Septiembre) [?]	C,D,B,3,B,B	M	Mallet (1852-1854)	1766.09, 20,02N, 75,84W
19	1777.07.07	Habana	[5] Güines	A,D,B,4,A,B	B	Pichardo (1854)	09:29:00, 22,83N, 82,03W, h=10 km, Mc=3,70
20	1791.06.21	Santiago de Cuba		A,D,B,3,B,B	B	Terremoto y huracán	23,05N, 81,96W
21	1800.10.14-15	Santiago de Cuba	(14 Octubre) [5] y (15 Octubre) [?]	A,D,B,3,A,B	B		19,90N, 75,80W, h=20 km, Mc= 4,20
22	1800.11.02	Cuba	[?]	A,D,B,2,A,B	B		19,90N, 75,80W, h= 20 km, Mc= 4,10
23	1810.10	Santiago de Cuba	[?]	B,D,A,2,B,B	R	Alcedo (1810-1812) y Th.Tegg (1824). 350 personas muertas	19,90N, 76,00W, h= 30km, Mc= 5,40
24	1812	Matanzas	[?]	C,D,B,4,B,B	M		23,05N, 81,58W, h= 10 km, Mc= 3,10
25	1822.05.08	Santiago de Cuba	[4]	A,D,B,5,A,B	B	Alcedo (1826); Mallet (1852-1854); Perrey (1843, 1846, 1856). Noche	20,02N, 75,84W, h=15 km, Mc= 3,20
26	1824.01.05	Trinidad	[6] hora: 3-4	A,D,B,5,A,B	B	Mallet (1852-1854); Perrey (1843, 1846, 1856). A las 3-4 de la mañana	21,80N, 79,98W, h=10 km, Mc= 4,30
27	1826.07	Santiago de Cuba	[?]	B,D,B,2,B,B	R	de la Sagra (1829, 1842, 1846)	20,02N, 75,84W
28	1826.09.18	Santiago de Cuba	[8]	A,D,B,5,A,D	B	Archivo Histórico Nacional de España: Vives, 1828; Alcedo (1826); Mallet (1852-1854); Perrey (1843, 1846, 1856). A las 3-4 de la mañana, tres sacudidas fuertes. Una parte de la villa destruida.	09:29:00, 19,00N, 75,80W, h=20 km, Mc= 5,75
29	1837.04.22	Cubitas	[5]	A,B,B,4,A,B	B	Sentido con ruidos 9h 10 m	14:44:00, 21,72N, 77,86W, h=15km, Mc=3,70

Nº	FECHA	LUGAR	CHUY [MSK]	ÍNDICES [F,T,F,V,LI]	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES	Catálogo de Álvarez <i>et al.</i> (1999)
30	1842.05.07	Santiago de Cuba-Cabo Haitiano	[8]	A,D,A,4,A,B	B	W. Tegg (1854); de la Sagra (1842, 1846); Perrey (1843, 1846, 1856). A las 5 horas de la madrugada.	22:15:00, 19,80N, 72,20W, h=60 km, Mc= 8,20
31	1842.07.07	Santiago de Cuba	[7]	A,D,B,3,A,B	B		19:90N, 76,00W, h=30 km, Mc= 6,00
32	1843.03.07	Santiago de Cuba	[4]	A,D,B,2,A,B	B		09:14:00, 20,02N, 75,84W, h=15 km, Mc= 3,20
33	1843.03.08	Habana		A,D,B,3,B,B	B	Perrey (1846, 1856)	09:39:00, 23,13N, 82,40W
34	1843.03.21	Habana		A,D,B,2,B,B		Perrey (1843). Una sacudida muy violenta de madrugada.	No
35	1844.09.03	Santiago de Cuba	[3]	A,D,B,3,A,B	B		20,02N, 75,84W, h=15 km, Mc= 3,20
36	1845.04.21	Santiago de Cuba- El Cobre	[4]	A,B,B,3,A,B	B	1 h 35 m	19:04:00, 20,02N, 75,84W, h=15 km, Mc=3,20
37	1846.03.23	Santiago de Cuba	[4]	A,B,A,3,A,B	B	7 h 30 m mañana. Perrey (1846, 1856)	12:59:00, 20,02N, 75,84W, h=15 km, Mc=3,2
38	1846.04.28	Santa Cruz del Sur, Camagüey	[4]	A,D,A,3,A,B	B	Perrey (1846, 1856)	20,71N, 77,99W, h= 10 km, Mc=3,10
39	1847.03.31	Cuba		A,D,A,2,B,B	B	Perrey (1856)	No
40	1851.05.11-12	Santiago de Cuba	(05 Mayo) [4]	A,C,B,3,B,B	B	4h – 10 h	21:29:00, 20,02N, 75,84W, h=15 km, Mc=3,20
41	1852.07.07	Cuba: Pinar del Río- Santiago de Cuba	[5]	A,B,A,4,A,B	MB	6h 30m. Islas Caimán. Pichardo (1854), Perrey (1856)	12:25:00, 19,70N, 79,70W, h=30 km, Mc=7,50
42	1852.07.17	Santiago de Cuba		A,D,A,3,B,B	B	Perrey (1856)	No
43	1852.08.20	Santiago de Cuba	[9] 2 muertos	A,B,A,5,A,A	MB	Archivo Histórico Nacional de España, 1 muerto	14:05:00, 19,75N, 75,32W, h=30 km, Mc=7,30
44	1852.08.21	Santiago de Cuba		A,D,B,4,B,B	B	3h 40m mañana	08:54:00, 19,90N, 76,00W, h=30 km, Mc=5,80
45	1852.08.22	Santiago de Cuba		A,D,B,4,B,B	B		02:47:00, 19,90N, 76,00W, h=30 km, Mc=5,20
46	1852.08.28-29	Santiago de Cuba		A,D,B,2,B,B	B	Perrey (1856)	Varias localizaciones
47	1852.09.05	Santiago de Cuba	(06) [6]	A,D,B,3,A,B	B	Perrey (1856)	18:29:00, 19,90N, 76,00W, H=30 km, Mc=5,10
48	1852.09.20	Santiago de Cuba	[?]	A,D,B,3,B,B	B	Perrey (1856)	20,02N, 75,84W,
49	1852.10	Santiago de Cuba	(04 Octubre) [?]	C,D,B,3,B,B	M	Perrey (1856)	1852.10.05, 20,02N, 75,84W, h=15 km, Mc=5,10
50	1852.11.06	Santiago de Cuba	[?]	A,D,B,3,B,B	B	Perrey (1856)	20,02N, 75,84W
51	1852.11.26	Santiago de Cuba	[8] 2 muertos y varios heridos	A,B,B,3,A,B	B	2 h 30m. Perrey (1856). 3h 25m	08:44:00, 19,90N, 76,20W, h=30 km, Mc=6,50
52	1852.11.26	El Cobre		A,B,B,2,B,B	B	3h 15 m mañana	No
53	1852.11.26	Sierra Maestra		A,B,B,2,B,B	B	3h 15 m mañana	No
54	1852.11.26	Manzanillo		A,B,B,2,B,B	B	3h 40 m mañana	No
55	1852.11.26	Bayamo		A,B,B,2,B,B	B	3h 20 m mañana	No
56	1852.11.26	Holguín		A,D,B,2,B,B	B		No

N°	FECHA	LUGAR	CHUY [MSK]	ÍNDICES [E,T,F,V,I,J]	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES	Catálogo de Álvarez et al. (1999)
57	1852.11.26	Nuevitas		A,B,2,B,B	B	3h 30 m mañana	No
58	1852.11.26	Santa Cruz del Sur, Camagüey		A,B,2,B,B	B	3h 30 m mañana	No
59	1852.11.27	Santiago de Cuba		A,B,3,B,B	B	5h. Perrey (1856)	No
60	1852.11.28	Santiago de Cuba	[5]	A,B,3,A,B	B	4h 20 m noche. Perrey (1856)	21:49:00, 19,90N, 75,80W, h=20km, Mc=4,10
61	1852.11.29	Sierra Maestra		A,C,B,2,B,B	B	12 h noche. Perrey (1856)	No
62	1852.11	Santiago de Cuba		B,D,B,1,B,B	R	Perrey (1856)	No
63	1852.12.14-17	Santiago de Cuba	[?]	A,D,B,3,B,B	B	Perrey (1856)	No
64	1852.12.28	Holguín		A,D,B,3,B,B	B	Perrey (1856)	No
65	1853.01.11	Santiago de Cuba		A,D,B,3,B,B	B	Perrey (1856)	20,02N, 75,84W
66	1853.01.25-26	Santiago de Cuba	(25 Enero y 26 Enero) [?]	A,D,B,3,B,B	B	Perrey (1856)	20,02N, 75,84W
67	1853.02.01	Santiago de Cuba	[?]	A,D,B,3,B,B	B	Perrey (1856)	20,02N, 75,84W
68	1853.11.08	Santiago de Cuba	[3]	A,D,A,3,A,B	B	Perrey (1856)	20,02N, 75,84W
69	1853.12.29	Santiago de Cuba	[4]	A,C,A,2,A,B	B	1h mañana	1853.12.17, 19,80N, 75,80W
70	1853.12.30	Santiago de Cuba	[4]	A,C,A,3,A,B	B	6 h mañana	No
71	1854.01.23	Santiago de Cuba		A,D,B,2,B,B	B	Perrey (1856)	No
72	1854.02.02	Santiago de Cuba		A,D,B,2,B,B	B	Perrey (1856)	No
73	1854.03.17	Santiago de Cuba	(16) [5]	A,C,A,3,A,B	B	1h noche. Perrey (1856)	06:29:00, 19,90N, 75,80W, h=20 km, Mc=4,10
74	1854.03.19	Baracoa?		A,D,B,1,B,B	B		No
75	1854.09.26	Santiago de Cuba	[3]	A,D,A,3,A,B	B	Perrey (1856)	20,02N, 75,84W, Mc=2,80
76	1854.09.27	Santiago de Cuba	[4]	A,B,A,3,A,B	B	5h 20 m mañana. Perrey (1856)	10:49:00, 20,02N, 75,84W, h=15km, Mc=3,20
77	1854.10.20	Santiago de Cuba	[3]	A,D,A,3,A,B	B	Perrey (1856)	20,02N, 75,84W, Mc=2,80
78	1855.01	Santiago de Cuba	[3]	B,D,A,2,A,B	R		20,02N, 75,84W, Mc=2,80
79	1855.02.20	Santiago de Cuba	[5]	A,C,A,3,A,B	B	7 h mañana. Perrey (1856)	12:29:00, 19,90N, 75,80W, h=20km, Mc=4,20
80	1855.04.24	Santiago de Cuba	[4]	A,B,A,3,A,B	B	12h 30m mañana. Perrey (1856)	17:59:00, 20,02N, 75,84W, h=15km, Mc=3,20
81	1856.01.04	Santiago de Cuba	[3]	A,D,A,3,A,B	B	Perrey (1856)	20,02N, 75,84W, Mc=2,80
82	1856.10.26	Santiago de Cuba	[4]	A,B,A,2,A,B	B	1 h 30 m noche	1852.10.27, 04:59:00, 20,02N, 75,84W, h=15km, Mc=3,20
83	1856.12.04	S.Yago (¿Cuba?)		A,D,B,2,B,B	B	Perrey (1856). Dudas	No
84	1857.02.10	Cuba	(S.Cuba) [5]	A,D,A,3,A,B	B		20,02N, 75,84W, h=15km, Mc=3,20
85	1857.06.11	Cuba	(S.Cuba) [?]	A,D,A,3,B,B	B		20,02N, 75,84W
86	1858.01.28	Bayamo	(S.Cuba) [?]	A,D,A,2,B,B	B		10:14:00, 19,90N, 76,00, h=30km, Mc=6,50

*... "Los naturalistas y geólogos establecen que esta sierra (el autor señala a la Sierra Maestra) está en comunicación submarina con otras dos grandes Antillas, Jamaica y Santo Domingo; y fundan su opinión en que, por medio de los volcanes subterráneos de la Sierra Maestra que se enlazan con los que corresponden á otras sierras de las dos islas mencionadas, se padecen en ellas en el mismo minuto y en el mismo segundo los primeros terremotos que en esta parte oriental de Cuba, tan propensa á ese fenómeno terrible" ...*

Don Antonio de Alcedo

## 9. Sismos fuertes y catastróficos en la región Suroriental de Cuba

### Introducción

Se puede asegurar que las razones que justificaron la ubicación y el diseño de los principales asentamientos humanos sobre las zonas de mayor nivel de sismicidad de la Tierra (Tablas A7, A8, A9) tienen, esencialmente, un complejo y combinado carácter geográfico - histórico y económico – político (Cornell, 1968; Medvedev, 1952, 1962, 1973, 1977). Por esto, en la actualidad, es casi imposible revertir su efecto sin dañar sensiblemente no sólo la vida de millones de personas sino también todas las estructuras socio – económicas y políticas de los países. En consecuencia, es imprescindible convivir con los terremotos, pero no de una forma pasiva e indolente, sino desplegando el intelecto y proyectando el pensamiento científico (Tabla A5) (Rustanovich, 1967; Kelleher *et al.*, 1973; Lomnitz, 1974; Hays, 1991). Esto, evidentemente, requiere tomar de forma analítica las experiencias anteriores y mejorar constantemente los conocimientos sobre los terremotos y sus efectos, y plasmar esos avances en beneficio de la sociedad (Estrada, 1976; Roberts, 1980; UNESCO, 1980).

La zona capaz de generar terremotos o capa sismogénica, se define en 30-40 km de profundidad, que no es más que la parte superior de la litosfera. En ella hay suficiente rigidez para producir fracturas frágiles (Mogi, 1967). Mientras que el proceso fundamental que origina el terremoto sigue siendo la relajación súbita de una energía acumulada en el medio (Ben-Menahem, 1961, 1962; Ben-Menahem y Singh, 1981; Keilis-Borok, 1987). En este sentido los esfuerzos principales que provocan la deformación del terreno y la acumulación de tensiones en la superficie está vinculada a la dinámica de la litosfera y a la teoría de la tectónica de placas (Hallan, 1976; Kanamori, 1980; Cisternas, 1985; McCann y Pennigton, 1990) (ver capítulo 1). Recordemos que los terremotos se vinculan con fallas geológicas observadas en el terreno de acuerdo con Von Humbolt.

Al analizar el proceso sísmico en el foco es imprescindible conocer un conjunto de tres parámetros que describan a la falla que genera al terremoto (Bolt, 1981). Esos parámetros son la forma en que se produce el proceso de ruptura, la localización espacio – temporal y su tamaño. En el glosario adjunto en los Anexos (Tabla A1) se da la definición de falla y de sus tipos principales; no obstante indicamos que una falla es una estructura geológica a lo largo de la que se ha producido una fractura y hay un desplazamiento diferencial con relación a los materiales adyacentes (ver capítulo 2). Por su importancia para la peligrosidad sísmica se distinguen cuatro tipos de fallas. Ellas son: falla activa, falla capaz, falla potencialmente activa y falla no activa.

Falla Activa es aquella estructura tectónica en la que: 1) Ha habido, al menos, un movimiento en la superficie o cerca de ella en los últimos 10.000 – 30.000 años, o movimiento con recurrencia en los últimos 500.000 años; 2) Existe constancia instrumental de la ocurrencia de sismos relacionados con la falla; 3) Hay relación con fallas potenciales que satisfacen las dos características anteriores. Las fallas activas se clasifican a su vez en tres tipos atendiendo al desplazamiento medio experimentado en el Cuaternario. Tipo A, cuando el desplazamiento en los últimos 1.000 años ha sido superior a 1 m; Tipo B, si el valor está de 10 cm a 1 m; Tipo C, cuando ha sido inferior a 10 cm. Falla potencialmente activa es la que no tiene indicios de actividad en el campo de esfuerzos actuales, pero que una etapa anterior fue activa. Mientras que una

falla se define como capaz cuando la generación de deformaciones es permanente en o cerca de la superficie. Una falla es no activa cuando no se ajusta al conjunto de las tres anteriores. Se ha comprobado que hay fallas no cartografiadas que han producido terremotos (Spiridonov y Grigorova, 1980; Aristarjova, 1989; Matsuda y Kinugasa, 1991).

Indicamos que el tipo de falla actuante y su geometría juegan un papel decisivo en la distribución espacial de las ondas sísmicas que generan (o patrón de radiación), y en las características del movimiento producido en el suelo. En este sentido, se conoce que las propiedades geológicas del terreno en las inmediaciones de una falla pueden alterar los efectos de éste. Sin embargo, es lógico suponer que se produzcan movimientos fuertes del suelo por fallas de tipos normal e inversa, donde las ondas P y SV predominan; mientras que las fallas de desgarre producen mayores movimientos horizontales debido al dominio de las ondas SH.

La determinación de los mecanismos focales (a partir de datos instrumentales) proporciona una importante información sobre la actividad tectónica de una zona y las características de las fallas y la distribución de esfuerzos (Honda, 1957, 1975; Bessanova *et al.*, 1979; Kostrov y Das, 1988) (ver capítulo 2) (Fig. 8.7). Además, la naturaleza de las ondas sísmicas generadas en la fuente y su patrón de radiación, dependen estrechamente del mecanismo focal (Madariaga, 1976, 1977; Keilis-Borok, 1987).

La principal dificultad de la predicción sísmica es que hay que predecir una consecuencia, los terremotos, sobre la base de un conjunto de otras consecuencias, como son los fenómenos geológicos y los campos geofísicos, sin haber comprendido totalmente las causas comunes; es decir los procesos tectónicos. No obstante, se ha comprobado que no existe un criterio geológico universal que permita determinar las condiciones de generación de los terremotos, ya que los medios geológicos son diferentes (Guelfand *et al.*, 1976; Gvishiani *et al.*, 1980).

De otra parte, la sacudida sísmica en un lugar dado puede ser debida a temblores próximos o lejanos. En el primer caso el movimiento es rico en altas frecuencias, mientras que en el segundo la mayor parte de la energía del espectro se sitúa en la zona de largos períodos. Un emplazamiento constructivo (edificación) cualquiera puede considerarse situado en campo lejano cuando su distancia al sitio de origen del sismo y la longitud de onda analizada son grandes respecto a las dimensiones del foco. Mientras que el campo próximo es la región en torno a la fuente sísmica y está situada a una distancia más pequeña que la longitud de la fractura.

Históricamente los problemas sísmicos fueron abordados, inicialmente, en el campo lejano. Los registros se hacían con equipos de respuesta plana (independiente de la frecuencia) en velocidad o desplazamiento, y que eran saturados muy fácilmente a distancias cortas del foco. El desarrollo de equipos capaces de registrar, sin saturarse, el movimiento fuerte del suelo ha permitido disponer de datos sísmicos de alta frecuencia y ha favorecido extraordinariamente el estudio del proceso de fractura en el foco. Sus registros se llaman acelerogramas.

### a) Sismos propios

De acuerdo a lo visto en el capítulo 8 se puede decir, sintéticamente, que Cuba es un bloque tectónico localizado, desde al menos el Eoceno Superior, en la parte meridional de la placa litosférica de Norteamérica, limitando al sur con la placa Caribe (Fig. 3.2). Su estructura está dividida por dos sistemas principales de fallas activas de direcciones NE y ONO-NO. Los datos de sismicidad y neotectónica permiten diferenciar cuatro unidades sismotectónicas: Occidental, Central, Oriental y Suroriental (Fig. 3.7). La interacción dinámica de las placas mencionadas se manifiesta diferentemente en el borde de contacto de las dos últimas unidades, la zona sismogénica Bartlett-Caimán. En ese borde de placas, con mecanismo focal predominantemente transcurrente sinistral, se libera la mayor cantidad de energía sísmica, tanto en frecuencia de terremotos como en magnitud de los mismos ( $M_s < 8,0$ ). Desde las inmediaciones de Cabo Cruz (zona de intersección de tres unidades sismotectónicas) y hacia el este el mecanismo focal se distingue como inverso sobre el plano transcurrente a la izquierda. Para la unidad Occidental la sismicidad es del tipo interior de placas ( $M_s \leq 7,0$ ) y el mecanismo sismogenerador, supuesto por el autor, es fundamentalmente de nudos de fallas.

Los terremotos propios para el caso de Cuba son aquellos que han ocurrido en cualquiera de sus unidades sismotectónicas (Fig. 8.1A). Estos sismos pueden ser débiles y fuertes. También pueden ser históricos, instrumentales y macrosísmicos de acuerdo con la forma y el momento temporal de su determinación. Un evento se denomina como macrosísmico cuando no ha podido ser determinado instrumentalmente, aunque haya ocurrido en este período, y sus parámetros son estimados con la escala de intensidades (Tabla A2) y algunas relaciones empíricas. Ahora bien, aquí sólo nos interesan los sismos propios fuertes y catastróficos de la región Suroriental de Cuba (Fig. 8.1A), por lo que la información incluida en los catálogos debe ser la más “fiable”. Esto se sustenta en la lógica de que deben ser esos eventos los que la memoria histórica recoja con más nitidez y completitud. Sin embargo, esto no siempre se cumple (Cotilla, 1993).

### b) Sismos de territorios vecinos

En este caso los terremotos pertenecen a las islas de Caimán, Jamaica y La Española, y a Guatemala. La figura 8.16 ilustra la inmediata cercanía a Cuba de otras fuentes de terremotos fuertes. Esto significa que Cuba puede sufrir los efectos de sismos propios y de territorios vecinos. Recordar que incluso el terremoto del 01.11.1755 de Portugal se hizo presente con un tsunami en Santiago de Cuba. También hay que considerar que en la parte del catálogo del período pre-instrumental y en particular la de los siglos XV-XVIII puede contener reportes de sismos propios cuando realmente pueden ser de territorios vecinos. En la tabla 9.1 hay una selección, del autor, de los terremotos fuertes de territorios vecinos a Cuba de acuerdo con los datos de Álvarez *et al.* (1985).

Tabla 9.1.- Selección de terremotos fuertes de La Española y Jamaica.

No.	Fecha	Localidad	Intensidad (MSK)
1	1751.10.18	La Española	9
2	1751.11.21	La Española	8
3	1770.06.04	La Española	9
4	1842.05.07	La Española	10
5	1860.04.09	La Española	8
6	1887.09.23	La Española	9
7	1897.12.29	La Española	9

8	1907.03.22	Jamaica	8
9	1908.01.22	Jamaica	6
10	1910.05.11	La Española	8
11	1911.09.11	Jamaica	6
12	1911.10.06	La Española	8-9
13	1914.08.03	Jamaica	7
14	1914.10.14	Jamaica	6
15	1916.01.30	Jamaica	6
16	1946.08.04	La Española	9
17	1978.02.26	Jamaica	6

### c) Nota sobre las construcciones antisísmicas en Cuba

Sintéticamente se denomina construcción antisísmica a aquella estructura (o edificación) artificial (ejecutada por el hombre) que puede resistir satisfactoriamente los efectos de los terremotos (Buné *et al.*, 1971; Medviedev, 1973). Sin embargo, esas edificaciones pueden estar diseñadas para resistir esfuerzos horizontales que no sobrepasen determinado nivel energético, por lo que en caso de ocurrir un evento de energía superior a la utilizada en los cálculos del diseño, ella puede sufrir efectos diversos, incluyendo su destrucción. Esas construcciones antisísmicas en general son costosas, ya que conllevan un detallado estudio de las características del sitio y del entorno donde se asientan, y de los materiales y métodos utilizados para su construcción (Popov, 1959; Algermissen, 1976; Ershov, 1973, 1977; Shteinberg *et al.*, 1973; Seed, 1982; Taylor *et al.*, 1982). Las personas que se encargan de esos trabajos son especialistas de alto nivel y calificación, quienes tienen un soporte técnico-material de empresas e instituciones muy poderosas en recursos.

Con independencia de la parte ética y moral del problema antisísmico, hay un factor que siempre se valora y es el económico. La experiencia cotidiana demuestra que excepcionalmente se logra la compatibilidad de esos factores. En los países de alto desarrollo, como Estados Unidos de Norteamérica y Japón, hay un excelente y probado programa en las técnicas antisísmicas. En particular son muy efectivas sus aportaciones para objetos de obras nucleares y en edificios altos. Para el caso de Cuba, asegura el Estado han sido consideradas en los estudios de las Centrales Nucleares de Cienfuegos y del Norte de Oriente (Holguín) (Fig. 3.16), en específico para los reactores. Esas obras se detuvieron a raíz de la retirada del apoyo soviético. También se dice lo mismo sobre los edificios altos de Santiago de Cuba. Al respecto de estas afirmaciones sólo remitimos al lector a lo expresado por Balassanian *et al.* (1994) sobre el terremoto de Spitak (en la antigua U.R.S.S.).

Pero las estructuras que han demostrado, inobjetablemente, su resistencia antisísmica en Cuba son dos edificaciones coloniales, ambas localizadas en Santiago de Cuba, una en la propia ciudad y la otra en las afueras. Ellas son: 1) la Casa del primer gobernador Don Diego Velázquez (Fig. 9.1), 2) la Isabelica. En particular la segunda es una edificación de fines del siglo XVIII y principios del XIX. Ella fue ejecutada por los colonos franceses huidos de Haití. Está asentada en la Sierra de la Gran Piedra, parte oriental de la Sierra Maestra, entre las bahías de Santiago de Cuba y Guantánamo. La edificación está en un área de cafetales y destaca por su muy buena resistencia a los estremecimientos sísmicos. Esto no es de extrañar, a la persona conocedora de la sismicidad del Caribe, ya que esos colonos sufrieron los muy fuertes y repetidos embates de los terremotos en la vecina isla de La Española, y en particular de la parte occidental, Haití. La estructura es de piedra y madera con la particularidad de que su

diseño resiste muy bien los movimientos horizontales, por lo que puede considerarse como una estructura antisísmica. Sin embargo, ella está muy deteriorada por un conjunto de elementos y factores adversos como: el largo tiempo desde su construcción, las incidencias de la meteorología (alto contenido de humedad, un péndulo térmico diario significativo, etc.), la actividad de los insectos, roedores y desaprensivos excursionistas, y sobre todo por el nulo mantenimiento. Hace años se propuso un plan para su rehabilitación, que el autor desconoce si ha sido ejecutado.

También debe mencionarse como una estructura antisísmica al acueducto de Santiago de Cuba. Esta obra no fue afectada por ninguno de los dos fuertes sismos de los años 1932 y 1947. También el actual Castillo del Morro (Fig. 9.2), de la bahía de Santiago de Cuba, ha resistido sin dificultades los fuertes terremotos de 1852, 1932 y 1947. El anterior Castillo fue destruido casi en su totalidad en el terremoto del 11.06.1766 (Cotilla y Udías, 2000). Algunos autores se han referido a la resistencia contra las fuerzas sísmicas de las construcciones de la ciudad de Santiago de Cuba. Al respecto presentamos, a modo de ejemplo para el terremoto del 11.06.1766 según tres fuentes bibliográficas, la tabla 9.2 con las edificaciones religiosas católicas, que tradicionalmente son sólidas.

Tabla 9.2.- Comparación de los daños en edificaciones religiosas de S. de Cuba, según tres fuentes.

<b>Edificación (año de construcción)</b>	<b>Pezuela (1863)</b>	<b>Salterain y Legarra (1884)</b>	<b>Archivo de Indias (AI)</b>	<b>Consideración final de acuerdo con el Archivo de Indias (identificación del documento)</b>
Catedral (1700)	X	X	X	Afectada (1085, 1120, 1124)
Iglesia Nuestra Señora de los Dolores (1723)	-	X	X	Afectada (1085, 1124)
Iglesia San Juan de Dios (1739)	-	-	X	Poco afectada. Arquitectura simple y de poca altura (1136-B)
Iglesia Santa Lucía (final del siglo XVII)	-	X	-	No afectada
Iglesia Santísima Trinidad Church (final del siglo XVII)	-	-	-	No afectada
Iglesia Santo Tomás Apóstol (1726)	-	-	X	Poco afectada. Arquitectura simple y muy sólida (1124)
Iglesia Nuestra Señora del Carmen (1719)	-	X	-	No afectada

#### **d) Diagnóstico del lugar de ocurrencia de terremotos fuertes**

El pronóstico sísmico es tremendamente complejo (Rikitake, 1976). Por ello los especialistas, sismólogos y geólogos, han buscado caminos alternativos para acercarse a la solución del problema (Florensov, 1960; Nishenko, 1991; Nishenko y Sykes, 1993). En principio esto se enfrentó de forma individual, al nivel de especialista, e incluso de país. Posteriormente se integraron los primeros equipos de especialistas con un perfil multidisciplinar e inclusive entre países. Así, con el desarrollo de los equipos de registro y medición geofísicos, en el sentido amplio del término, de una parte, y de la otra con el avance de los métodos de cálculo y la potencia de los sistemas electrónicos de computo se ha favorecido considerablemente las perspectivas de la solución del problema.

La necesidad del estudio de los terremotos está justificada, sin margen a dudas, por el peligro y los daños que ocasionan a las personas y sus propiedades. Es evidente en la actualidad que los sismos, como fenómenos físicos naturales, que siempre están localizados en el interior de la Tierra, pueden ser estudiados (Solonenko, 1962; Reisner, 1980). Sin embargo, esto no significa que la solución sea simple, ya que hay un conjunto, hasta el momento muy elevado, de variables, no todas comprendidas en su justa medida, que intervienen en los procesos sísmicos (Simpson y Rochards, 1981). Por ello, los especialistas con el tiempo han valorado, dado los múltiples fracasos que un pronóstico es muy arriesgado y como alternativa han optado por el diagnóstico (Riznichenko, 1974). Entre esos dos términos hay grandes diferencias, que aquí no analizaremos (Roberts, 1980).

Para la mayor parte de las personas es evidente que se estableció una competencia entre los antiguos bloques capitalista y socialista con las carreras espaciales y armamentista. Sin embargo, pasó inadvertido que en el terreno científico, no militar, y en particular de la Sismología y dentro de ella del pronóstico de terremotos, se produjo una desenfrenada carrera. En este sentido basta con revisar los libros de resúmenes de los eventos científicos del período 1950-1990. No obstante, se puede asegurar que los científicos han comprobado que: 1) los terremotos ocurren con mayor probabilidad en determinadas zonas, 2) en el lugar que ha ocurrido un terremoto debe acontecer otro evento transcurrido cierto tiempo, 3) no se puede asegurar, con rotundidad, que una zona es sísmicamente tranquila, 4) la ciencia es un proceso lógico concreto y requiere de datos fiables y no de efectismo (Taylor *et al.*, 1982).

Una aproximación inteligente al problema del pronóstico es el diagnóstico (Simpson y Rochards, 1981). Esta posición es mucho menos comprometida y se considera una etapa preliminar para el pronóstico. El diagnóstico de los terremotos se puede considerar, en un sentido práctico, en tres partes, no necesariamente desvinculadas: 1) espacial, 2) energético ( $M_{\text{máx}}$ ), 3) temporal. En cada uno de esas partes ha habido logros, pero aún resultan insuficientes (Kelleher, 1972; Kelleher *et al.*, 1973; Kelleher y McCann, 1976; Smith, 1976; Kagan y Jackson, 1994, 1995).

La estimación de las magnitudes máximas ( $M_{\text{máx}}$ ) posibles de los terremotos es uno de los problemas más complejos en la Sismología (Zhidkov *et al.*, 1975; Abe y Noguchi, 1983; Kijko y Dessokey, 1987; *U.S. Geological Survey*, 1988). Este problema se puede abordar desde tres posiciones distintas y hasta el momento aún no se alcanzan conclusiones definitivas ni congruentes. Así existen diversos métodos (Brune, 1968; Buné *et al.*, 1974; Smith, 1976; Acharya, 1979; Cisternas *et al.*, 1985). Unos basados en la información geólogo – tectónica (o simplemente geológica) (Cluff *et al.*, 1972; Coopersmith y Schwartz, 1984), otros en la información sismológica (o sismoestadística) (Gumbel, 1958; Buné y Reiman, 1960; Haskell, 1966; Buné *et al.*, 1970, 1974; Reisner, 1980; Okubo y Aki, 1985) y los terceros que combinan esos dos grupos de información (Gvishiani *et al.*, 1987; *Working Group on California Earthquake Probabilities*, 1995). En estos últimos están los de Reconocimiento de Formas o Patrones (RF), y son los que aquí presentamos (Guelfand *et al.*, 1976; Gvishiani *et al.*, 1978, 1980; Guitis *et al.*, 1992, 1992a; Ruiz *et al.*, 1992).

## d.1 Método de Reconocimiento de Formas

La aplicación de las técnicas de RF a la solución del problema de estimación de la  $M_{\text{máx}}$  se remonta a la década de los años 70 del siglo XX en la entonces Unión Soviética. En ese momento se presentaron dos enfoques diferentes. Uno de ellos consiste en determinar en qué sitios pueden ocurrir magnitudes mayores que  $M_0$ , para éste caso se utilizaron técnicas del tipo de algoritmos de votación (Guelfand *et al.*, 1973). Se puede decir que se empleó con bastante éxito en varios lugares del mundo (Cisternas *et al.*, 1985, Gvishiani *et al.*, 1980). El segundo enfoque pretende un mapa de  $M_{\text{máx}}$  a través del establecimiento de un funcional. Este funcional tiene que relacionar a la mencionada  $M_{\text{máx}}$  con diferentes parámetros sismológicos y de otro tipo (Buné *et al.*, 1975). Estos autores retoman la idea de Riznichenko (1974) de que la  $M_{\text{máx}}$  puede encontrarse como una función de variables geológica, geodésica y sismológica.

## d.2 Aplicación del método de Reconocimiento de Formas a Cuba

Como antecedente se debe indicar que para la región Caribe se ha aplicado el método de RF y obtenido resultados satisfactorios (Álvarez *et al.*, 1992; Guitis *et al.*, 1989, 1992, 1992a; Ruiz *et al.*, 1992). Ahora aquí se presenta, de forma resumida, la aplicación, que algunos colegas y el autor realizaron años atrás, para la región Suroriental de Cuba. La base inicial es que las  $M_{\text{máx}}$  se estiman a partir de los máximos reportados hasta el momento. Se busca entonces una clasificación, para este caso, en seis niveles diferentes de magnitud, que se denominan clases (Tabla 9.3).

Tabla 9.3.- Relación clases – magnitud.

Clase	Magnitud	Clase	Magnitud
1	$7 < M_{\text{máx}} < 8$	4	$4 < M_{\text{máx}} < 5$
2	$6 < M_{\text{máx}} < 7$	5	$3 < M_{\text{máx}} < 4$
3	$5 < M_{\text{máx}} < 6$	6	sin actividad

Los valores de  $M_{\text{máx}}$  se determinan para cuadrículas de dimensión  $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ . Esas cuadrículas se denominan objetos. En la formulación se asume que la  $M_{\text{máx}}$  tiene una relación no explícita con los parámetros geológicos, geomorfológicos y geofísicos. Se aclara que entre los geofísicos se encuentran los sismológicos. Sobre la base de estos planteamientos se busca un conjunto de objetos que se puedan asignar, con seguridad, a cada una de las seis clases. Esto, evidentemente, es la parte compleja del trabajo, y para lo que es necesario emplear todo el conocimiento que *a priori* se tiene de la ocurrencia de terremotos en la región de trabajo. Así al asignar a un punto a una clase se determina, de forma automática, su  $M_{\text{máx}}$ .

En el trabajo se seleccionaron 36 objetos que constituyen la muestra inicial (MI) (Tabla 9.4).

Tabla 9.4.- Relación objetos – clase.

Objetos	2	3	3	9	10	8
Clase	1	2	3	4	5	6

Los parámetros utilizados para la clasificación, denominados como variables, se distinguen por el tipo (Tabla 9.5). Y la procedencia de cada uno de los datos utilizados aparece en la tabla 9.6.

Tabla 9.5.- Variables empleadas.

<b>Variable</b>	<b>Breve descripción</b>
Geológica	Tipo de falla (clasificación en cinco tipos: límite de placas, trascortical, cortical, supuesta y flexura).
Geomorfológica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Gradiente neotectónico (medida cualitativa de la actividad de las fallas. Tiene una clasificación en cinco tipos: muy fuerte, fuerte, moderadamente fuerte, débil y ausencia de manifestación).</li> <li>2) Tipo e intensidad del movimiento predominante en los bloques (clasificado en diez categorías: cinco con movimiento ascendente e igual cantidad con movimiento descendente. Ellas se subdividen en: extremadamente fuerte, muy fuerte, moderadamente fuerte y débil).</li> <li>3) Amplitud de los movimientos neotectónicos verticales en el Holoceno (clasificado en tres intervalos desde &lt; 0 m hasta &gt; 50 m).</li> <li>4) Amplitud de los movimientos neotectónicos verticales en el Pleistoceno (clasificación en siete intervalos desde &lt; - 500 m hasta &gt; 1.000 m).</li> <li>5) Amplitud de los movimientos neotectónicos en el Neógeno – Cuaternario (clasificación en siete intervalos desde &lt; -1.000 m hasta &gt; 1.000 m).</li> <li>6) Nudos de alineamientos (clasificación en tres categorías, 1ra, 2da y 3ra por orden de actividad).</li> </ol>
Geofísica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Anomalías de Bouguer (valores entre -30 y 300 miligales).</li> <li>2) Gradiente de las anomalías de Bouguer (valores entre 0 y 4.500).</li> </ol>
Sismológica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Sismos propios máximos (corresponde a un mapa de intensidades máximas epicentrales).</li> <li>2) Mapa suma de isosistas (en cada punto aparece el valor de intensidad correspondiente a la isosista de mayor valor que le incluya).</li> </ol>

Tabla 9.6.- Autoría de los datos utilizados.

<b>Variable</b>	<b>Referencia</b>
Geológica	M. Cotilla
Geomorfológica	M. Cotilla
Geofísica	Oliva <i>et al.</i> , 1989
Sismológica	T. Chuy

Los algoritmos de votación fueron introducidos por Yu. I. Zhuravliov. Su idea básica es la precedencia parcial. Esto significa que son, en primer lugar, algoritmos de reconocimiento con aprendizaje. Y en segundo lugar, que la clasificación de un objeto se lleva a cabo no por la comparación entre su descripción completa y las respectivas descripciones de objetos cuya clasificación se conoce, sino por la comparación entre partes de las mismas. Es decir, sub-descripciones de objetos que en ocasiones pudieran ser completas o totales.

Hay un total de seis aspectos fundamentales en el proceso de RF con este tipo de algoritmos. Ellos consisten en la selección:

- 1- del sistema de conjuntos de apoyo. Éste consiste en una familia de conjuntos no vacíos de variables. Dichos conjuntos indican cuáles variables serán empleadas cada vez al momento de comparar el objeto a clasificar con los objetos de una muestra de aprendizaje. Entre los subconjuntos de esta familia se encuentra el de los *test* típicos, cuya descripción se verá posteriormente
- 2- de una función de cercanía. Su papel en el proceso es determinar cuándo son o no semejantes dos objetos cualesquiera. Dicha comparación se realiza utilizando sólo dos variables correspondientes al conjunto de apoyo seleccionado. Para esto es imprescindible que para cada una de las variables se den los criterios de semejanza. O sea, decir cuándo dos valores de ésta pueden considerarse equivalentes para los fines que se persiguen. Dicha función devuelve siempre dos valores: 1= si los objetos que se comparan son semejantes, 0 = si no lo son

- 3- de una regla para calcular la evaluación de cada objeto para un conjunto de apoyo fijo. Esta regla define la valoración del objeto que se clasifica con respecto a cada uno de los objetos de la muestra de aprendizaje, y será idéntica para todos los elementos del sistema de conjuntos de apoyo. Aquí se seleccionó una que consiste en la multiplicación de la función de cercanía por el peso informacional del objeto de la muestra de aprendizaje
- 4- de una regla para el cálculo de la evaluación de cada clase para un conjunto de apoyo fijo. Esta regla determina, para un elemento del conjunto de apoyo, y una vez calculadas las valoraciones del objeto a clasificar con respecto a todos los objetos de una clase. Aquí se utilizó el promedio de las valoraciones por objeto de la muestra de aprendizaje dentro de la clase
- 5- de la regla para el cálculo de las evaluaciones de cada clase (votación) para el sistema de conjuntos de apoyo. Esta regla determina la valoración final (votación) de cada clase a partir de las valoraciones obtenidas para cada uno de los conjuntos de apoyo. Aquí se empleó como votación de una clase la suma de las valoraciones para esa clase con cada conjunto de apoyo ponderada por la suma de todas las valoraciones por clase y conjunto de apoyo
- 6- de una regla de solución. Determina, a partir de las votaciones de cada clase, la clasificación del objeto. Aquí se utilizaron dos. Ellas aparecen en la tabla 9.7.

Tabla 9.7.- Breve descripción de las reglas empleadas.

<b>Regla</b>	<b>Descripción</b>
1	Pertenece a la clase e si la votación para esa clase es la máxima
2	Pertenece a la clase e, si de las votaciones que sobrepasen un umbral, la votación para esa clase es la máxima

El proceso de clasificación de un objeto es mediante su comparación con todos y cada uno de los objetos de la muestra de aprendizaje, usando la función de cercanía, para todos los conjuntos de apoyo, y la aplicación de las anteriores reglas. Previamente a este proceso se debe realizar un análisis de las variables. Este análisis se efectúa con la MI. El proceso consiste en comparar los elementos de diferentes clases empleando la función de cercanía partiendo de todo el conjunto de n variables, continuando con las posibles combinaciones de n-1 variables, etc. De esta forma se pretende determinar todos los conjuntos mínimos, los irreducibles de variables que permiten diferenciar los objetos de clases diferentes. Estos conjuntos se denominan testores típicos y que fueron anteriormente mencionados. El peso informacional de una variable es una medida de su importancia para la clasificación. En su determinación intervienen los valores de cada variable así como los pesos informacionales de éstas.

Es también necesario realizar previo a la clasificación el análisis de la eficiencia de los algoritmos. Para esto la muestra inicial se divide en dos partes: una muestra de aprendizaje y otra de control. Los elementos de esa última se clasifican usando como referencia los de la primera, y en función de los errores que se cometen en este proceso se determina la eficiencia del algoritmo utilizado. Como son muy grandes las posibilidades de variar el algoritmo de clasificación, este proceso permite seleccionar un algoritmo óptimo.

El sistema SELECTOR de Pico y Ruiz se empleó para el análisis de las variables. Todas ellas, excepto la que corresponde a la amplitud de los movimientos neotectónicos verticales en el Holoceno, resultaron poseer una importancia similar. Se determinó un

total de 53 *test* típicos (conjuntos mínimos de variables que permiten diferenciar entre los elementos de las distintas clases en la muestra inicial. Dado el bajo número de elementos en dicha MI se tomó la decisión de no dividirla en muestras de aprendizaje y de control, y sólo se utilizó como muestra de aprendizaje. Prescindiendo del análisis de la eficiencia de los algoritmos de clasificación.

Fue seleccionado un algoritmo basado en las comparaciones de elementos usando todos los *test* típicos. Éste considera semejante a dos elementos si al menos el 80 % de las variables del *test* típico son semejantes. Aquí se utiliza una regla de solución denominada de mayoría simple, que consiste en clasificar al elemento en la clase para la cual se obtiene la votación más alta.

La figura 9.3 es el resultado alcanzado. Dado que las votaciones obtenidas para las distintas clases son bastante similares, se impuso una nueva condición, que consiste en restringir la clasificación sólo a aquella clase cuya votación normalizada sobrepase un umbral de 0,22. Esto condujo a un incremento de los puntos sin clasificación con relación al caso anterior, principalmente a costa de las clases, 1 y 2, de terremotos más fuertes.

De esos mapas se puede colegir que: 1) las zonas de origen de terremotos coinciden con los resultados de otras investigaciones, 2) Las  $M_{\text{máx}}$  son coincidentes o están en algunos casos por encima o por debajo de las estimaciones de otros autores, incluyendo el mapa sismotectónico de Cuba. También se puede asegurar que la información inicial utilizada favorece a la baja resolución en el proceso de la clasificación. Por todo esto, consideramos que los resultados alcanzados aunque no son definitivos constituyen una primera aproximación a la solución del problema que nos ocupa, el diagnóstico de terremotos fuertes.

*... "Es triste vivir en una época, cuando el mero hecho de escribir con sinceridad basta para ser interpretado como prueba de valor" ...*

Don Alejandro von Humbolt

## **10. Estudios relacionados con el conocimiento sismológico de Cuba**

### **Introducción**

Como se ha visto anteriormente (capítulo 4) en el siglo XIX el científico cubano Andrés Poe y realizó, a título individual, un meritorio trabajo en el campo sismológico. Su contemporáneo y colega, el español Benito Viñes, S.J., desarrolló diversas actividades en el contexto de la Compañía de Jesús las cuales sentaron las bases para la instalación de la primera estación sismológica. Esta fue la principal tarea de Mariano Gutiérrez Lanza, S.J. Otra personalidad que ejecutó tareas de investigación sismológicas a título personal y subvencionadas en parte por organismos públicos y privados fue don Pedro Salterain. La participación científica de don Eduardo Monteulieu se ajustó también a esa norma.

En general, antes del año 1959 las investigaciones e ideas sobre terremotos se debatían en la Real Academia de Ciencias Médicas, Física y Naturales de La Habana y de hecho los especialistas antes mencionados debieron exponer ante ese foro temas específicos para su aceptación como miembros de ella. Pero, después de ese año todo en el País cambió y las instituciones fueron desmontadas totalmente. En el año 1961 dejó de existir el Real Colegio de Belén de La Habana por orden del gobierno, instaurado desde 1959 hasta la fecha. Igual suerte tuvo en el año 1962 la Real Academia de Ciencias Médicas, Física y Naturales de La Habana.

En ese contexto histórico, el departamento de Geofísica fue constituido en el año 1962 dentro de la Academia de Ciencias de Cuba (ACC), fundada meses antes. En ese departamento había un pequeño grupo de técnicos en Sismología con muy poca experiencia. En el año 1964 ese departamento adquiere la categoría de Instituto y ya se constituye un departamento de Sismología con la instalación de la estación en Soroa, Pinar del Río. Sin embargo, no es hasta 1973 que hay graduados universitarios cubanos dedicados a la disciplina. Desde 1962 y hasta 1990 se contó con la colaboración de numerosos especialistas del entonces “campo socialista” de Europa del Este. La colaboración permitió la preparación de especialistas cubanos en Sismología. Las estaciones sismológicas Soroa y Cascorro, y Río Carpintero fueron producto de donaciones de la Unión Soviética y de la República Democrática Alemana, respectivamente.

La estructura de la ACC, del Instituto de Geofísica y del departamento de Sismología fue similar a la de los países socialistas de entonces. En el departamento existían cuatro líneas de trabajo o investigación: a) Servicio Sismológico Nacional; b) Servicio de Investigaciones Aplicadas; c) Peligrosidad Sísmica; d) Microrregionalización Sísmica. El 03.02.1992 se extrae, por decreto, del Instituto de Geofísica y Astronomía al departamento de Sismología que pasa a ser Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. También hubo un cambio de sede, de Ciudad de La Habana hacia Santiago de Cuba. Y en el año 1995 el gobierno disolvió la Academia de Ciencias de Cuba y constituyó el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La sede (Capitolio Nacional), los funcionarios y la filosofía de control continuaron siendo los mismos.

Dentro de la ACC, en específico de la Secretaría de Asuntos Nucleares, existió un grupo de investigaciones sismotectónicas, derivado principalmente del Ministerio de la

Industria Básica (al que se hará referencia posteriormente), que trabajó en el área del Centro de Investigaciones Nucleares. La construcción de ese centro científico se decidió, de forma administrativo estatal, fuera realizada en la periferia de Ciudad de La Habana, específicamente en la localidad de Pedro Pí. En las investigaciones sismotectónicas del mencionado Centro, para alcanzar un mapa de zonas sismogeneradoras, colaboraron especialistas de esa Secretaría y del Instituto de Geofísica y Astronomía (Orbera *et al.*, 1990). El resultado difiere, sustancialmente, de los obtenidos por el Ministerio de la Industria Básica (MINBAS), y que posteriormente se comenta.

El Instituto de Geografía de la ACC aplicó, en colaboración con especialistas soviéticos, para tres regiones de Cuba (Occidental, Centro - Oriental y Suroriental) métodos geomorfológicos con el objetivo de establecer relaciones entre la sismicidad y las morfoestructuras. Estas investigaciones permitieron a tres especialistas alcanzar el grado de doctor en Ciencias (1984-1991). Sin embargo, ninguna de ellas se vinculó con los planes de investigación del Instituto de Geofísica y Astronomía (que también estaba dentro de la ACC), y tampoco con los del MINBAS.

El Ministerio de la Industria Básica de Cuba enfrentó desde mediados de la década del 70 investigaciones de tipo sísmológico, por lo general, al margen de la ACC. Esto se fundamentaba en el hecho de las grandes inversiones energéticas que financiaba la Unión Soviética para el país. Así, dentro de la Empresa Integral de Proyectos se constituyó un grupo de investigaciones sismotectónicas, inclusive antes que en la Academia de Ciencias de Cuba. Este grupo contaba con la asesoría directa de especialistas soviéticos.

En los planes de investigaciones geofísicas y sísmológicas para los asentamientos de centrales electronucleares en Cuba se investigaron tres zonas: Juraguá (en Cienfuegos), Gibara - Bariay (Holguín) y el norte de Pinar del Río (Fig. 3.1). Esas investigaciones aportaron diversos mapas de zonas sismogeneradoras, todas con metodología soviética (ver capítulo 8). La Industria Básica creó una gran infraestructura para las investigaciones de la Central de Holguín (CEN, o del Norte de Oriente) y en consecuencia contrató para la parte de Sismología un numeroso grupo de especialistas soviéticos (tadzhikos, principalmente), así como también todo el equipamiento de las estaciones sísmológicas que se instaló en la región oriental de Cuba. Las estaciones, una vez finalizados los trabajos, pasaron al Instituto de Geofísica y Astronomía. Cabe señalar que hubo colaboración entre la CEN y el Instituto de Geofísica y Astronomía, pero la parte soviética era la responsable.

Mención especial tienen los trabajos geofísicos realizados por los especialistas soviéticos en las décadas del 60, 70 y 80 en Cuba (Sherbakova *et al.*, 1975, 1977) para el conocimiento de la estructura superficial y profunda de la corteza. Sin embargo, hasta el presente no hay acuerdo entre los especialistas acerca del modelo de corteza de Cuba (Prol *et al.*, 1993; Mossakovskiy *et al.*, 1989; Shein *et al.*, 1985, 1985a).

#### **a) Visión general**

El desarrollo, en el ámbito mundial, de la Sismología como ciencia se recoge en no pocos textos dedicados al recuento e interpretación de acontecimientos, a las descripciones de documentos, eventos y personalidades, y a la evaluación de ideas,

situaciones y teorías. En este sentido, el mayor número de aportes ha provenído históricamente (hasta el principio del siglo XX) de Europa. Sin embargo, desde principios del siglo XX se distingue a Estados Unidos de Norteamérica (E.U.A.) como el área de mayor efectividad, potencialidad y dinamismo.

No es sorprendente que para América en su conjunto exista bastante información sísmológica histórica, ya que son característicos y relativamente frecuentes sus eventos sísmicos fuertes. Sin embargo, la calidad y la homogeneidad de los datos varían mucho debido, fundamentalmente, a los escasos recursos económicos dedicados a las investigaciones en los países situados al sur de los Estados Unidos de Norteamérica. En el aspecto instrumental es fácil comprender que la situación resulta más compleja. Aunque en los últimos años existe un incremento en la cooperación, con países europeos y los E.U.A., en proyectos científicos de diverso alcance y objetivo se destaca, muy bien, en ese contexto como algunos de los resultados así obtenidos tienen una utilización muy limitada y que la infraestructura local es insuficiente.

El área insular americana en general, y Las Antillas Mayores [Cuba, Jamaica, La Española (Haití y República Dominicana) y Puerto Rico] en particular, no es una excepción a la regla anteriormente expuesta. En este segmento geográfico hay mucha documentación, de diverso carácter, consignada por los europeos en el siglo XV y europeos, norteamericanos y nacionales con posterioridad, que indica su actividad sísmica. La documentación se ha conservado, en muchos casos, tanto en los países que componen la región como en España, Francia, Reino Unido y los EUA. Sin embargo, no existe hasta la fecha un catálogo único [unificado] que sea científicamente aceptado por todas las partes y la red de estaciones locales (al nivel de país) es, en general, insuficiente con la excepción de las que operan en Jamaica y Puerto Rico.

En esta región caribeña las ideas y formas de trabajo científico, incluida la sísmológica, dependieron y dependen mucho del contexto geopolítico, aunque no se reconozca ni señale, explícitamente, en las publicaciones (Cotilla *et al.*, 1996). Las aportaciones económicas para las investigaciones han estado supeditadas, fundamentalmente, a esfuerzos particulares, de ahí su limitado alcance. En el marco científico hasta principios del siglo XX se aprecia el influjo de la línea de pensamiento europeo y a partir de ese momento la marcación norteamericana prevalece.

Así, Cuba de una influencia intelectual europeo occidental [siglo XV – principio del siglo XX] y norteamericana [1900-1950] derivó, bruscamente, al entorno europeo oriental [1962–1990]. En la actualidad se reorienta básicamente en la línea del desarrollo instrumental de la República Popular China y la cooperación con algunos organismos internacionales.

## **b) Valoración somera de los trabajos sismotectónicos de Cuba**

La Sismotectónica es una especialidad científica de mucha significación para el planeamiento de obras industriales de gran magnitud y para la preservación de la vida humana. Puede asegurarse que los resultados de la correcta aplicación de sus métodos son decisivos para la mejor selección de las posibles áreas del emplazamiento de cualquier objetivo. Su utilidad fue reconocida por Gubin (1990) en un análisis histórico de las investigaciones sísmológicas y geológicas con el fin de confeccionar mapas de regionalización sísmica. Ese autor en 1957 inició los debates, en el marco de la

U.R.S.S., contra las "escuelas" geológicas y sismológicas establecidas, pero lamentablemente no fue hasta que con la ocurrencia de sismos catastróficos en áreas no consideradas en la regionalización sísmica de la U.R.S.S. se dio paso, a fines de los años 60 del siglo XX, a la aplicación de la Sismotectónica. De esta última, en el caso de la U.R.S.S., hay algunas variantes como la que se aplicó en Cuba (Krestnikov *et al.*, 1983).

Varias han sido las vías para enfrentar la tarea sismotectónica, así como diferentes han resultado las técnicas desarrolladas (*Bureau de Recherche Geologique et Minerale*, 1981; Instituto Geográfico Nacional, 1992; Krestnikov, 1987; Spiridonov y Grigorova, 1980; Zhidkov *et al.*, 1975). En este proceso surge la base teórico-metodológica general, la que se ha enmarcado en países de alto desarrollo por lógicas necesidades de preservación ambiental y economía; por lo que ha quedado establecido que el propósito central de estas investigaciones es la identificación, la delimitación y la caracterización de las posibles zonas sismogénicas, que localizadas en una región pueden afectar fundamentalmente a un objetivo industrial e inclusive poblacional. Desafortunadamente no existe hasta la fecha una "receta" como algunas personas creen. Esto se explica por varias razones y de las cuales sólo señalaremos cuatro: 1) la necesidad de proponer soluciones/respuestas a partir de consecuencias de un proceso; 2) la gran diversidad de condiciones geodinámicas en que se producen los terremotos; 3) la insuficiente y heterogénea base sismológica instrumental e histórica; 4) el alto coste de las informaciones geológicas, tectónicas y geofísicas.

El estudio sismotectónico de una región no implica circunscribir las investigaciones al estrecho límite geográfico de un país, sino que es necesario extenderlas al marco de una provincia sismotectónica, hasta clarificar su ubicación en la estructura jerárquica (Rubio, 1985). Luego, la preparación de un mapa sismotectónico (MS) no se reduce a la aplicación de la misma metodología (incluidas las relaciones y fórmulas deducidas en otras regiones para establecer la magnitud máxima ( $M_{máx}$ ) en función de las características geométricas de la falla) en zonas de diferente tipo de sismicidad (Algermissen, 1976). No quiere esto decir que se considere erróneo el uso de estos elementos, sino que deben ser evaluados sus resultados críticamente (Grünthal *et al.*, 1985).

Un aspecto de mucho interés para la preparación de los MS es el que señalaron Johnston y Kanter (1990) en cuanto a que las regiones continentales (escudos y plataforma) consideradas, tradicionalmente, asísmicas han sido afectadas por fuertes terremotos ocurridos en sus inmediaciones, que aparentemente no guardan relación con las estructuras sísmicamente activas de las Zonas Límites de Placas Litosféricas (ZLPL). El mecanismo de tales fenómenos sísmicos se explica por determinadas condiciones de reactivación de esfuerzos en profundidad, en antiguas zonas falladas actualmente cubiertas por muchos cientos y miles de metros de espesor de sedimentos. La magnitud de tales eventos sísmicos es más o menos del mismo orden que los terremotos más fuertes ocurridos en zonas activas, pero con frecuencia mucho menor. En dicha investigación de zonas "estables" se recomienda el uso de imágenes de satélites con el objetivo de localizar alineamientos y hallar una posible relación estructural en profundidad (Grünthal *et al.*, 1985; Makarov y Schukin, 1976; Spiridonov y Grigorova, 1986), así como la aplicación de la técnica de reconocimiento paleosismológico (Schwartz, 1984).

La influencia de la subjetividad en los resultados de un trabajo de sismotectónica no se limita a la etapa interpretativa; ya que los propios datos iniciales llevan implícita una fuerte carga subjetiva (Guitis *et al.*, 1992). Tal es el caso de la información macrosísmica, utilizada tanto en el esclarecimiento de la sismicidad como en el estudio de la atenuación de los efectos de los terremotos con la distancia al epicentro (Álvarez *et al.*, 1985). Ejemplo de ello, para Cuba, lo constituye el caso de las investigaciones macrosísmicas de Chuy *et al.* (1988) para la CEN del Norte de Oriente que apenas unos meses después de concluidas fueron modificadas significativamente en al menos cuatro terremotos por Orbera *et al.* (1990) en cuanto a: a) los puntos de perceptibilidad; b) la fiabilidad del trazado de las isosistas; c) la configuración (forma) de las isosistas. Estas cuestiones son una de las más frecuentes fuentes de error en el complejo proceso de la adquisición y el procesamiento de la información para confeccionar mapas de isosistas de terremotos ocurridos con fechas anteriores. G.Grünthal opina que estas situaciones conllevan a la errónea identificación y pobre caracterización de la fuente sísmica (comunicación personal). En consecuencia, para este caso concreto se redujo manifiestamente la peligrosidad sísmica (Cotilla, 1993).

La inconsistencia de las modificaciones sismotectónicas realizadas por Orbera *et al.* (1990) se evidencia, incuestionablemente, a partir de la ocurrencia reciente de un terremoto en la localidad de San José de las Lajas (La Habana) el 09.03.95 ( $M_s = 2,5$ ;  $I = V$  grados MSK) (Figs. 8.10, 8.12) aproximadamente, a una decena de kilómetros del área principal de sus estudios, el Centro de Investigaciones Nucleares (CIN); ya que no señalan a ésta como área probable de ocurrencia y tampoco la existencia de alguna ZS en sus inmediaciones. Estas cuestiones sí fueron reconocidas por Cotilla *et al.* (1991a) y se recogen como el cruce o nudo **N4** de dos zonas sismogénicas, Guane y Habana-Cienfuegos (Fig. 8.13).

La determinación del lugar de ocurrencia y de la  $M_{máx}$  de los terremotos son tareas extremadamente complejas, y para ejecutarlas hay diferentes metodologías (Guitis *et al.*, 1992; Krestnikov, 1987; Reisner, 1980; Riznishenko, 1965; Shebalin, 1971; Sirotinskaia *et al.*, 1986; Zhidkov *et al.*, 1975). Sin embargo, hasta el presente no hay una guía totalmente satisfactoria, ni mucho menos definitiva (Kisslinger, 1975; Álvarez *et al.*, 1985; Cotilla, 1993). Una de las vías para estimar los parámetros sismológicos antes mencionados es la de los potenciales sísmicos, que fue la seleccionada por Cotilla *et al.* (1993). Esta posición obedece a que la determinación de las zonas sismogeneradoras con su  $M_{máx}$  asociada debe corresponderse con una jerarquía dinámica, espacial y energética en el contexto de la tectónica global (Bormann, 1989) y a que no hay en Cuba una suficiente fiabilidad en los catálogos macrosísmicos e isosistas confeccionados, ni existe una adecuada precisión en las determinaciones epicentrales con la red de estaciones sismológicas y tampoco han sido acometidas tareas paleosismológicas (Cotilla, 1993).

El concepto de potencial sísmico (McCann *et al.* 1979) fue introducido en la Sismología como una medida de la posibilidad de generar terremotos fuertes a mediano plazo en sectores de las fronteras entre las placas tectónicas grandes. El origen de estos trabajos se remonta a la hipótesis del ciclo sísmico de Fedotov, pasando por los trabajos de Kelleher (1972), Kelleher *et al.* (1973) y Kelleher y McCann (1976) en los cuales se delimitan sectores de la frontera entre placas que son propensos a generar terremotos fuertes.

El estudio del potencial sísmico para la parte norte del Caribe de (Cotilla *et al.*, 1993) mantiene como (McCann, 1976) el presupuesto que este parámetro sismológico depende principalmente de: 1) las etapas del desarrollo geológico de la región; 2) las dimensiones (largo, ancho y profundidad) de las zonas de origen de terremotos que integran la región; 3) la interrelación con las regiones vecinas. Como datos iniciales emplearon un catálogo de terremotos preparado al efecto, los mapas de isosistas (con un conjunto de modificaciones estadísticas) y los datos neotectónicos. Al final del procesamiento se obtuvo un mapa escala 1:1.000.000 que indica que es sólo al norte de La Española donde puede esperarse ocurran terremotos con  $M_s \geq 8,0$ . Este resultado coincide con los datos aportados por (Guitis *et al.*, 1992; Pangiotopoulos, 1995); luego entonces, las zonas sismogénicas de Cuba deben tener un nivel de  $M_{\text{máx}}$  menor que el determinado por este método.

Todos los estudios de sismotectónica en Cuba, sin excepción, han finalizado en mapas de zonas sismogeneradoras con sus correspondientes estimados de  $M_{\text{máx}}$ . Ésta es una diferencia significativa con relación a los mapas sismotectónicos confeccionados en Francia por el *Bureau de Recherche Geologiques et Mineres* (1981) y España por el Instituto Geográfico Nacional (1992). Lamentablemente la información sismológica empleada es insuficiente para la toma de decisiones indiscutibles en la mayor parte del territorio, por lo que todos los estimados de riesgo sísmico obtenidos a partir de ellos tienen una importante carga subjetiva y la única manera de eliminarla es con la incorporación de nuevos datos sismológicos (Álvarez *et al.*, 1991). En este sentido, y bajo un prisma de colaboración internacional, hay sólo dos formas de obtener esa nueva información:

**a)** densificando la red nacional de estaciones sismológicas en todo el territorio. Esto permitiría: 1) disminuir el umbral de magnitud de los terremotos que se registran ; 2) lograr un nivel aceptable de fiabilidad del proceso de determinación de coordenadas ; 3) tener un incremento substancial del número de terremotos registrados. Así se podría encontrar solución a muchas de las discrepancias actuales sobre la ubicación espacial de las zonas sismogeneradoras; **b)** realizando estudios paleosismológicos. Estos estudios, que van orientados a encontrar huellas de terremotos fuertes ocurridos en el pasado (hasta varios miles de años), han tenido en los últimos años una importancia decisiva en el desarrollo de las investigaciones de sismicidad. Cuando se realizan en toda su amplitud (determinación de las dimensiones focales y fechado) permiten precisar la magnitud del terremoto ocurrido, el sector de falla afectado y el tiempo de ocurrencia aproximado. El análisis complejo de la información obtenida para grandes zonas de falla permite resolver problemas muy importantes como: 1) la determinación de la segmentación de dichas zonas; 2) la estimación de la frecuencia de ocurrencia de los terremotos fuertes en cada segmento (Petersen y Wesnovsky, 1994). Su aplicación en Cuba, para las zonas de mayor categoría ( $M_{\text{máx}} > 6,5$ ), debe redundar en el esclarecimiento de la potencialidad (espacio-temporal) de las mismas. Esto ha sido abordado parcialmente por Cotilla *et al.* (1994).

Independientemente de que se puedan concretar, en un futuro inmediato, los aspectos mencionados en el párrafo anterior consideramos que no se han agotado todas las posibilidades para mejorar la calidad de los resultados sismotectónicos en Cuba a partir de los datos de que se dispone hasta el momento. Así, sin siquiera pretender imponer una metodología particular ni tampoco limitar el número de especialistas que deben intervenir en una investigación sismotectónica, recomendamos para nuevos trabajos: 1)

interpretar, objetivamente, la experiencia científica y administrativa divulgada a raíz del terremoto de Spitak por Balassnian *et al.* (1994); 2) adaptar y aplicar, sin dogmas, la guía para la confección de mapas sismotectónicos de Pavoni (1985); 3) recoger, extensamente, las consideraciones y recomendaciones sobre prevención y mitigación de Roberts (1980); 4) desarrollar los conceptos del código latinoamericano de riesgo sísmico de Estrada (1976); 5) seleccionar, sólo con equipo multidisciplinar de especialistas, los procedimientos más idóneos y eficientes de las metodologías aplicadas en el país.

### c) Valoración sismotectónica alternativa de Cuba Oriental

Esta investigación se centra en la Unidad Neotectónica Oriental (Fig. 8.7) que está limitada por los siguientes sistemas jerarquizados de fallas activas: al sur, B-C (límite de las placas de Norteamérica [PLN] y Suramérica [PLC]); al norte y nordeste, Nortecubana (NC) (límite del megabloque Cuba); y al oeste, Cauto-Nipe (límite de las Unidades Neotectónicas). De hecho estos tres sistemas disyuntivos activos, para un primer macromodelo (M1), se articulan en igual número de nudos (A, F, E) con sismicidad reconocida, pero de diferente categoría.

La Unidad Neotectónica Oriental es la más activa del país, aunque su extensión es mucho menor que la Occidental. Se caracteriza por el predominio del relieve montañoso (valores de pendientes y disección vertical (diferencia entre altura máxima y altura mínima) de más de 30 grados y  $500 \text{ m/km}^2$ , respectivamente) y estrechas llanuras costeras (a manera de bandas), con la presencia de dos macrobloques montañosos, Sierra Maestra (1.974 m) y Nipe-Cristal-Baracoa (1.175 m), de diferente historia geológica y composición litológica, pero con marcadas tendencias al ascenso ( $> 1.000 \text{ m}$ ) a partir del Eoceno Superior.

El nudo N1 (Cabo Cruz) (Fig. 10.1A), conformado por el sistema de fallas B-C (la de mayor jerarquía neotectónica y manifiesto desgarre sinestroso y movimiento vertical diferenciado en las inmediaciones de la región suroriental) con el sistema de fallas C-N (no expresada en el relieve superficial) muestra actividad sísmica en la vecindad de Cabo Cruz, donde se destacan las ocurrencias recientes (20 de agosto de 1990 y 25 de mayo de 1992) de dos terremotos de magnitudes  $M_s = 5,1$  ( $h = 10 \text{ km}$ ) y  $M_s = 6,9$  ( $h = 23 \text{ km}$ ), respectivamente. Consideramos que este nudo tiene un significado importante para la construcción del mapa estructural de Cuba, y en particular de Cuba Oriental; ya que en la dirección NE se produjeron intensos desplazamientos (Iturralde, 1981; Quintas y Blanco, 1993) y por esa condición y su relación con la zona de fallas B-C se supone existe en la actualidad una cuenca de tipo *pull-apart*. También el nudo N2 (Maisí) (Fig. 10.1A), de las fallas B-C y NC (sistema de fallas submarinas de movimiento normal), tiene sismicidad asociada y desde el punto de vista geodinámico es un lugar de mucho interés, ya que a partir de él cambia el carácter de la ZLPL del norte del Caribe (Cotilla *et al.*, 1991a). El tercer nudo disyuntivo N3 (Nipe, de menor categoría que los dos anteriores) (Fig. 10.1A) se produce en la intersección de los sistemas de fallas C-N y NC, lugar donde se detectan diferencias importantes en las características morfológicas del segundo sistema y en sus inmediaciones se produjo un evento sísmico el 28.12.1998 de  $M_s = 4,6$  (Cotilla, 1993).

## c.1 Modelos utilizados para la interpretación de la Unidad Neotectónica Oriental

Desde el punto de vista geológico, Iturralde (1977) propuso que Cuba está desde el Eoceno Superior en un desarrollo de tipo neoplatafórmico (estado intermedio entre plataforma y geosinclinal) y que su territorio se divide en un sistema regular de bloques de tipo *horst* y *graben*, en tendencias de ascenso y descenso. Así, Cuba Oriental está constituida por dos bloques de tipo *horst* (Sierra Maestra y Nipe-Cristal-Baracoa) y dos *graben* (Bayate y Cauto - Nipe). También la región oriental de Cuba fue estudiada desde el punto de vista morfotectónico por Hernández *et al.* (1991), quienes delimitaron dos macrobloques montañosos (Sierra Maestra y Nipe-Cristal-Sagua-Baracoa-Purial) y un macrobloque deprimido (Depresión Central-Guantánamo) (Fig. 10.2). Como se expuso anteriormente, Cotilla *et al.* (1991b) delimitaron, analizando la cuestión neotectónica, dos unidades en el megabloque cubano. En la Unidad Neotectónica Oriental, estos autores diferenciaron dos macrobloques en ascenso diferencial (Sierra Maestra y Nipe-Cristal-Baracoa) y un macrobloque complejo en descenso diferencial (Cauto-Nipe-Guantánamo), todos ellos sujetos a la directa influencia de la interacción de las placas litosféricas Caribe-Norteamérica. Es decir, no sólo hay tendencia a los ascensos y descensos, sino también desgarre sinestroso con la consiguiente deformación y configuración de neoestructuras de los tipos *pull-apart basin* y *pressure ridges*, en la parte emergida, y profundas depresiones marinas al sur (fosa submarina B-C) y al nortenoeste (Nortecubana). Esto significa que es factible diferenciar en el relieve actual un comportamiento geodinámico desigual del territorio cubano y en particular de la Unidad Neotectónica Oriental, lo cual se adapta muy bien a la propuesta del macromodelo M1 antes expuesto.

Los métodos tradicionales de geología estructural, aplicados a Cuba Oriental, fueron utilizados por Cotilla *et al.* (1991b) para comprobar el carácter siniestro de los desplazamientos en la zona de Bartlett y la posible existencia de una compresión noreste, como se conocía a partir de los datos sismológicos (Álvarez y Cotilla, 1984; Álvarez *et al.*, 1985). Mientras que la obtención *in situ* del tensor de esfuerzos (Zoback y Zoback, 1980; Cisternas, 1985) constituye una etapa más avanzada de tales estudios sismodinámicos. Estos métodos de cinemática neotectónica (MCN), adecuados a las diferentes condiciones de la corteza terrestre en cuanto a dimensiones, tipos de estructuras, etc., permiten precisar el paleoesfuerzo a partir de mediciones en microfallas. En nuestro caso se utilizó el método de Franzke y Janssen (1984). Este método tiene incorporado en el procesamiento automático para PC varias técnicas estadísticas que requieren información espacial de las estrías y las juntas de tensión. Con él se puede discernir del conjunto base de estrías las diferentes fases o reactivaciones de los esfuerzos, indicando al final los ejes principales de esfuerzo; además, calcula y dibuja rosas diagramas y elipsoides de deformación, y de éstos el régimen de fallas queda establecido.

Cotilla (1993) calculó las orientaciones de los ejes principales de paleoesfuerzos en 66 estaciones a partir de 6.000 medidas de estrías, y con ello pudo parcialmente: 1) determinar los desplazamientos en las fallas; 2) argumentar sobre la imposibilidad del desplazamiento del bloque Sierra Maestra (SM) en la fosa de Bartlett - Caimán (FB); 3) determinar el mecanismo de interacción tectónica entre el megabloque FB (parte oriental) y la Unidad Neotectónica Oriental de Cuba; 4) determinar la dinámica del segmento este de la FB; 5) identificar y caracterizar las estructuras secundarias

asociadas (en la parte emergida) al sistema B-C; y 6) diferenciar por sectores al sistema de fallas B-C a lo largo del borde meridional de la UNOr (Fig. 8.7).

Según Cotilla *et al.* (1991a), el límite FB-UNOr es un sistema de fallas de primer orden, Límite de Placas Litosféricas (LPL), paralelo a la línea de costa, que está acoplado a otros dos sistemas de fallas transversales (NE y NO) activas, pero de orden menor, por ej. Pílon y Baconao. También se distinguen otras fallas activas asociadas de dirección E-O en la UNOr, como Boniato (al norte de la bahía de Santiago de Cuba), que la literatura identifica como *flower structures*. Tales sistemas de fallas y nudos son, según la opinión de Rantsman (1979), los lugares más favorables para la generación de terremotos.

Existen en la literatura (Hancock, 1985, sus figuras 5 y 6) tres modelos dinámicos que dan solución a los datos antes presentados. Estos modelos relacionan un sistema articulado de fallas de distinta categoría, el cual impide el deslizamiento de grandes paquetes rocosos en fosas o depresiones adyacentes, al conformar una red articulada de fallas y fracturas. El primero de los tres modelos incluye una falla inversa principal y una familia de fallas normales secundarias. El segundo modelo plantea una falla normal principal y una familia de fallas inversas secundarias. Ambos modelos se adaptan muy bien a los datos del fallamiento (por sectores) del límite B-C - UNOr. Por su parte, el tercer modelo, que incluye un sistema principal de fallas normales articulado complejamente con fallas normales e inversas, es el que mejor representa la situación del fallamiento en la región suroriental de Cuba.

Sobre esta base, Cotilla (1993) propuso para la parte sur de la UNOr (macrobloque de Sierra Maestra) que las fallas (como Boniato) de dirección paralela a la de Bartlett-Caimán, pero de considerable menos actividad y dimensiones, poseen planos que interceptan a diferentes profundidades a esta falla principal. Este sistema secundario de fallas es predominantemente de tipo normal y se encuentra en ocasiones complicado con otros grupos de fallas transversales sinestrosas, que impiden el deslizamiento del bloque principal de la Sierra Maestra en la fosa adyacente. Esto no niega la posible existencia de procesos gravitacionales (de pendientes) que afecten pequeños volúmenes rocosos aunque nunca alcanzarían escala regional.

El sistema de fallas B-C exhibe, a lo largo de la costa suroriental de Cuba, diferencias significativas en cuanto a: 1) expresión morfológica y neotectónica; 2) representación en los campos gravimétrico, isostático y magnético; 3) actividad sísmica; 4) presencia de sectores con marcadas influencias transpresivas y trastensivas; 5) tipos y combinaciones de estructuras asociadas. Esto ha sido en parte reconocido por Calais y Mercier de Lépinay (1993). Desde esa perspectiva, Cotilla (1993) identificó de oeste a este tres zonas (1- Cabo Cruz-Pílon, 2- Pílon-Baconao, 3- Baconao-Maisí) (Fig. 8.7) que se han correspondido muy bien con zonas de diferente grado de inestabilidad isostática (Cuevas, 1994), y caracterizó quince sectores de diverso nivel de gradiente neotectónico (desde muy fuerte a moderado), lo cual indica un riesgo geológico diferente.

De otra parte, se ha determinado por datos de sismicidad que: 1) las fallas transversales asociadas al sistema B-C poseen un menor nivel de actividad en la parte continental que en la marina; 2) el sector Cabo Cruz-Baconao (zonas 1 y 2) es más activo que el de Baconao-Punta de Maisí (zonas 3 y 4); 3) en las intersecciones de fallas se localizan nudos sismoactivos, que coinciden en superficie con los epicentros, en los que se ha

podido dibujar isosistas (medias isosistas); 4) la sismicidad es menor, tanto en frecuencia como magnitud, de sur a norte en el marco de la UNOr.

Los nudos sismoactivos mencionados (N1, N2, N3) de la UNOr y sus inmediaciones (en definitiva nudos morfoestructurales de primera categoría) pueden considerarse como los puntos nodales propuestos a escala regional por Vesanen *et al.* (1975) y en consecuencia pueden conformar, de conjunto, sistemas de celdas (bloques) menores en el contexto de la ZLPL del Caribe Norte (Cotilla *et al.*, 1993). Por lo tanto, para proponer un modelo de interacción dinámica entre los megabloques de Cuba y Bartlett-Caimán, en particular para la región oriental, es imprescindible considerar los elementos estructurales y disyuntivos de mayores dimensiones. En este sentido, Trifonov *et al.* (1981) planteó la presencia de fallas de "plumaje" (*flower structures*) asociadas a Bartlett, y Cotilla *et al.* (1991b) registraron el desplazamiento sinestroso en su análisis estructural. También desde los resultados de mecanismos focales (Álvarez y Cotilla, 1984) se conoce el desplazamiento sinestroso de la región en general, y que los sismos de Pilón del 19 de febrero de 1976 y de Cabo Cruz-Pilón del 20 de agosto de 1990 y 25 de mayo de 1992 (Fig. 8.5) están asociados, indiscutiblemente, a la falla principal de tipo transcortical, B-C; aunque para el último terremoto hay un plano de dirección NO que buza al SO.

Así tenemos, a la luz de la metodología de Hancock (1985), que la actividad neotectónica con movimientos en la horizontal de la región fosa de Bartlett-UNOr se justifica a partir de un sistema dinámico, y en consecuencia activo (límite de placas litosféricas), donde la falla de transformación Bartlett-Caimán se asocia con sistemas secundarios Riedel y Skempton (Riedel, 1929), estructuras transversales del *tipo pull-apart basin, pressure ridges*, etc. Por otra parte, existen también redes de bloques de menores dimensiones asociadas a la falla B-C con diversa geometría, disposición, altitud y velocidad de movimiento en la vertical (Hernández *et al.*, 1991) que complican la visualización del cuadro general. No obstante, la tendencia de movimiento principal del sector de placa analizado es al NE (Cotilla, 1993).

Analizando la generación de terremotos en la profundidad para esta región vemos que los terremotos más superficiales ( $h < 25$  km) aunque se concentran en mayor cantidad en algunas zonas, se hallan distribuidos por toda la región. Sin embargo, cuando nos limitamos a un escalón inferior en la profundidad ( $25 < h < 50$  km) notamos que los eventos van ocurriendo en zonas espacialmente más reducidas, coincidentes aproximadamente con algunas de las zonas de máxima concentración de eventos en el escalón anterior. Finalmente, los terremotos más profundos ( $h > 50$  km) se localizan en pocos sectores, aunque manteniendo relación con los escalones de profundidad anteriores. Tomando en consideración que la distribución del número de eventos en función de la profundidad es la reflejada en la figura 8.3, y que la profundidad es un parámetro sujeto a mayor error en las determinaciones hipocentrales, aseguramos que la sismicidad de la región es prácticamente cortical, con pequeñas contribuciones, muy localizadas, del manto superior. Este patrón de generación de terremotos corresponde al que se debe esperar de un sistema de fallas de tijeras o *hinge faults*.

Tal modelo de fallas de tijeras no lo consideramos exclusivo del sureste de la bahía de Santiago de Cuba, sino que está presente en varias zonas a lo largo de la costa suroriental de Cuba, lo cual puede deducirse de los mapas de energía liberada y liberación de deformaciones (Cotilla, 1993), y por la dirección e interconexión de las morfoestructuras de distinta categoría de las partes marina y continental (Cotilla *et al.*,

1991b; Hernández *et al.*, 1991). No obstante, para probar esto es imprescindible procesar con técnicas más potentes toda la información de sismicidad en cuanto a profundidad, considerando el margen de error de las determinaciones, y precisando mejor los tipos de corteza en la zona; ya que aún no se contempla el completamiento de la red de estaciones cubanas y tampoco la colaboración con países vecinos.

Lo aquí expuesto, en cuanto al modelo de fallas de tijeras, está en contraposición con la propuesta de la existencia de infracorrimiento o subducción de la placa Caribe bajo la placa norteamericana en el sector de Santiago de Cuba propuesto por Sánchez y Vorobiova (1989). En Cotilla (1993) hay una extensa discusión al respecto.

## **c.2 Apuntes específicos sobre la sismicidad de Cuba Oriental**

Como expusimos antes, en la región oriental de Cuba funcionaba una red de estaciones sismológicas regionales, de la cual se tomó el periodo de observaciones 1979-1989; el más fiable (Cotilla, 1993). Del análisis de ese catálogo, con independencia de una discriminación espacial detallada de los epicentros resulta que: 1) los terremotos están concentrados en profundidades inferiores a 70 km en un 99 % e inferiores a 40 km en un 93 %; 2) la  $K_{m\acute{a}x}$  (clase energética máxima) registrada fue de 13,2 (lo que equivale aproximadamente a una  $M_{m\acute{a}x}$  de 4,8 en la escala de Richter, inferior a la detección de la red sísmica (5,0)); 3) la cantidad de eventos en el tiempo se comporta regularmente, con ciertos picos; y 4) el número desigual de estaciones sismológicas en funcionamiento durante este periodo constituye una limitación para emitir conclusiones definitivas. No obstante, hay otras apreciaciones importantes que pueden ser en parte observadas en las figuras 7.13, 7.14, 8.1 y 8.3, como: 1) los agrupamientos de epicentros y su arreglo lineal como grupos; 2) la localización predominante de los terremotos entre Pilón y Baconao (zona 2) del sur de la Sierra Maestra; 3) la existencia de un grupo muy disperso de epicentros al SO de Cabo Cruz (zona 1); 4) la configuración de otro grupo epicentral, más estrecho, en cuanto a su distribución al SE de Imías-Guantánamo (zona 4); 5) la ubicación de un agrupamiento epicentral al noroeste (fuera de los límites de la UNOr) en las inmediaciones de la parte marina de Puerto Padre; y 6) la ubicación de una importante cantidad de epicentros en la parte marina norte, entre Puerto Padre y las bahías de Banes y Nipe.

Una forma de discriminar los hipocentros, con relación a su precisión, es a través del número de estaciones usadas en su determinación, sobre todo cuando el método utilizado (tal es el caso del catálogo de la red de estaciones cubanas) no permite obtener estimaciones cuantitativas de los errores (Álvarez *et al.*, 1990). Por las características del problema inverso a resolver (determinar tres coordenadas y un valor de tiempo) las mejores soluciones se obtienen cuando son utilizadas muchas estaciones. Tal análisis fue realizado por Cotilla (1993) considerando varios casos (por ej., registro por cuatro o más estaciones y registro por seis o más estaciones) y distintos intervalos de profundidad ( $h < 25$  km;  $25 \leq h < 50$  km;  $h \geq 50$  km). Del mismo se extraen las siguientes conclusiones:

- a) los tres grupos de epicentros (observaciones nos. 2, 3 y 4 antes relacionadas) se mantienen, aunque se reduce considerablemente su extensión al aumentar el número de las estaciones sismológicas que los registraron, pero cuando la profundidad es superior a 25 km y el número de las estaciones aumenta, estos grupos casi desaparecen. Evidentemente, esta situación se puede explicar a partir de la existencia de un proceso de liberación energética superficial

- b) específicamente los grupos de epicentros del SE de la bahía de Santiago de Cuba (inmediaciones de Baconao) y de Cabo Cruz se mantienen inclusive a profundidades superiores a 25 km ( $y < 70$  km). Sin embargo, su distribución es diferente. En el primero, los epicentros se concentran mucho en la parte emergida, mientras que el segundo de ellos continúa destacándose (en la parte marina) con apreciable dispersión; esto corrobora la jerarquía que poseen las fallas involucradas e indirectamente indica el estado de los esfuerzos (tensión y compresión) para los diversos sectores sobre un marco de transurrencia. Este último agrupamiento de epicentros fue objeto de uno de los primeros estudios sobre sismicidad de Cuba (Álvarez, 1974)
- c) las otras agrupaciones de epicentros (observaciones nos. 5 y 6) del norte de Cuba (UNOc) aparecen sólo hasta profundidades de 25 km
- d) las zonas epicentrales que se localizan en la parte emergida de la UNOr, como Cauto-Bayamo, Nipe, Moa-Baracoa, etc., se mantienen incluso al aumentar el número de las estaciones que registraron los terremotos, así como se mantienen a profundidades superiores a los 25 km (aunque lógicamente muy reducidos). Sobre esta base puede decirse, con buen margen de seguridad, que ellos pertenecen a las zonas de fallas de Cauto-Nipe, Baconao y Purial, al alineamiento Nipe-Cristal-Baracoa, e incluso a intersecciones con otras estructuras de menor categoría; ya que de acuerdo al arreglo espacial de las estaciones sismológicas esa es la zona de más alta precisión de detección.

Empleando los datos de la red de estaciones cubanas (período 1979-1989) resulta paradójico observar que al norte de Holguín (en la zona sismogeneradora Nortecubana, parte occidental, al oeste de la bahía de Nipe), donde la magnitud y la frecuencia de terremotos debería ser menor en comparación con la parte oriental de la misma zona (por consideraciones neotectónicas, en cuanto a desplazamiento vertical y deformación de las estructuras) (González *et al.*, 1989) existe un número de epicentros muy superior al que está en la parte oriental, aunque muy dispersos. Esta situación se explica no por la mejor cobertura de las estaciones sismológicas, sino por la decisión, administrativa y no científica, de sólo analizar los registros de las inmediaciones del área occidental donde se centraron los estudios para la selección del emplazamiento de una Central Electronuclear. Ahora bien, este “descuido” determinó el desconocimiento de la potencialidad de la ZS Nortecubana en ese sector (Cotilla, 1993).

Otro aspecto interesante en la sismicidad de esta región es la variabilidad en cuanto a forma y orientación de las isosistas de los terremotos (Chuy *et al.*, 1988). Esta variabilidad ha sido estudiada con vistas a la modelación matemática de las isosistas para su aplicación en trabajos de estimación de peligrosidad sísmica (Álvarez, 1985; Álvarez y Chuy, 1985; Álvarez *et al.*, 1985). Cotilla (1993) utilizó dicha variabilidad como elemento diferenciador de las zonas sismogeneradoras; destacando, en este sentido, que la orientación de los ejes mayores de las elipses, cuando el terremoto ocurre en un nudo, no siempre coincide con la estructura principal, sino más bien con la secundaria. Ejemplo de ello, sobre la falla de Bartlett-Caimán, son los terremotos del 3 de febrero de 1932 y del 20 de agosto de 1852, con isosistas orientadas, aproximadamente, a lo largo de la falla Baconao, y el terremoto del 25 de mayo de 1992, con isosistas orientadas a lo largo del sistema de fallas Cauto-Nipe, por citar sólo los más fuertes. Tal efecto fue observado también recientemente en la mitad oriental del sistema de fallas Nortecubana, con el terremoto del 20.03.95 ( $I=V$ , MSK) con isosistas orientadas a lo largo de la falla Purial de dirección NO-SE.

Luego, es factible explicar, a grandes rasgos, la sismicidad principal de la Unidad Neotectónica Oriental y sus inmediaciones por los trazos y las intersecciones de las zonas de fallas: al sur por Bartlett-Caimán con Cauto-Nipe (en Cabo Cruz); Bartlett-Caimán con Pílon y Bartlett-Caimán con Baconao, etc. (en el sureste de la Sierra Maestra); Bartlett-Caimán con Purial (en el SE de la bahía de Guantánamo); y Bartlett-Caimán con la Nortecubana (extremo este de la Unidad); y al norte por la Nortecubana con B; y la Nortecubana con C-N (Fig. 10.1A). Esta interpretación coincide sustancialmente con los resultados de Hernández *et al.* (1991).

### **c.3 Modelo neotectónico teórico de la parte oriental de Cuba**

Sobre la base de lo anterior se expone a continuación un modelo M2 (Fig. 10.1B) más específico que el macromodelo M1 (Fig. 10.1A) descrito en el epígrafe anterior. El nuevo modelo recoge desde otra perspectiva las diferencias tectogénicas del neoplano de la región Oriental de Cuba y sus áreas colindantes; dicho modelo constituye una variante, lógica dadas las insuficiencias anteriormente mencionadas, para la delimitación de regiones sismogénicas.

Caláis y Mercier de Lépinay (1993) plantearon que la dinámica contemporánea del sector norte de la placa Caribe está expresada en el relieve (submarino y emergido) con los esfuerzos tectónicos de tipo transpresivo, fundamentalmente, de dirección NE. Esto confirma la propuesta de Cotilla (1993) en cuanto a que la dinámica actual del megabloque cubano está determinada por la interacción de las placas litosféricas regionales. No obstante, consideramos que existen ciertas particularidades o diferencias en el territorio (siempre locales) atendiendo a la combinación de dos factores principales: el tipo y la evolución de la corteza neotectónica y la distancia que hay con respecto al principal límite tectónico disyuntivo de la región B-C. Por otra parte, Hays (1989) propuso un índice de clasificación de actividad de las fallas basado en su jerarquía geodinámica actual y cuya aplicación en el presente caso muestra un valor muy elevado de actividad para Bartlett-Caimán, y luego en orden decreciente NC, C-N y B (Cotilla *et al.*, 1991b).

Si a los sistemas de fallas analizados del macromodelo M1 añadimos el sistema de Baconao (B), que se extiende desde el de B-C hasta el sistema NC con dirección NO-SE y que asumimos posee una combinación de desplazamiento inverso y desplazamiento en dirección derecha, encontramos entonces un conjunto articulado de cuatro sistemas de fallas que se entrelazan de forma diferente, pero no independiente, y donde la respuesta dinámica aunque distinta también estará, lógicamente, relacionada con la categoría de las fallas que lo forman.

Las determinaciones microtectónicas de Cotilla *et al.* (1991b) para la falla Baconao (antes asumidas) se confirman con el resultado del mecanismo focal del NEIC para el terremoto del 01.09.1985 de  $M_s = 5,1$  y  $h = 10$  km (combinación de falla inversa en un plano NO con desplazamiento diestro). Insistimos en que el sistema de fallas B es muy importante para comprender la dinámica de la UNOr, ya que es el enlace directo del sistema Bartlett-Caimán con el sistema de fallas de C-N en las inmediaciones de la cuenca homónima y con el sistema NC en la parte marina. Así hay tres nuevos nudos (N4, N5, N6) que permiten justificar la sismicidad observada, uno de ellos en el interior mismo de la UNOr (Cauto-Bayamo).

El estilo de la liberación energética (mecanismo, profundidad, frecuencia y magnitud) en las intersecciones de los sistemas de fallas B-C con C-N (nudo N1) y B-C con B (nudo N4) es muy diferente del que se produce en la intersección del sistema de fallas NC con C-N (nudo N3) y de la NC con B (nudo N6). Esta diferencia significa que en el primer caso la liberación es más fácil que en el segundo (interacción de distintos tipos de corteza), lo que fue utilizado por Cotilla *et al.* (1991b) para justificar la proposición de una cuenca de *pull-apart* en las inmediaciones del Cauto y la imposibilidad de otra estructura similar en el área de Nipe, a pesar de estar sobre una misma estructura disyuntiva, como es C-N.

A partir de este nuevo esquema con los cuatro sistemas de fallas (Bartlett-Caimán, Nortecubana, Cauto-Nipe y Baconao) y sus correspondientes intersecciones, considerando además los resultados de Prol *et al.* (1993) relativos a la existencia de tres tipos de corteza en Cuba (oceánica, transicional gruesa y transicional fina) y también los muy diferentes valores de los campos gravimétrico (Prol *et al.*, 1993; Cuevas, 1994) e isostático (Cuevas, 1994) en Cuba, y en particular entre las dos Unidades Neotectónicas, inclusive dentro de la propia UNOr, es posible asegurar que el modelo cinemático M2, de tres celdas dinámicas (I, II, III) y seis nudos (N1, N2, N3, N4, N5, N6) pueden explicar la diferencial situación tectogénica contemporánea de la región y su actividad sísmica. (Fig. 10.1B).

En el modelo M2 tenemos que:

- cada una de las celdas [I (Sierra Maestra), II (Nipe-Cristal-Baracoa) y III (Maniabón)] está representada, de forma muy simplificada, al menos por tres puntos o nudos activos y las líneas principales de debilidad tectónica actual que los unen; pero todas sin excepción son estructuras articuladas entre sí desde al menos el Eoceno Superior en un marco transpresivo regional
- las elipses de influencia poseen una relación entre sus ejes mayor (a) y menor (b) diferente, pero con un definido sentido de rotación en favor de las manecillas del reloj, cumpliéndose que para la celda I,  $a_1 \gg b_1$ , para la celda II,  $a_2 > b_2$ , y para la celda III,  $a_3 \geq b_3$ . Esto significa que existe una velocidad de desplazamiento diferente en cada una de las celdas (lo que se corresponde con las observaciones dadas para distintos segmentos del Caribe)
- los seis puntos que representan las celdas se caracterizan por el nivel decreciente de la liberación energética y de la magnitud máxima: N1 ( $M_s < 8,0$ ) > N4 ( $M_s < 7,5$ ) > N2 ( $M_s < 7,0$ ) > N5 ( $M_s < 6,5$ ) > N3 ( $M_s < 6,0$ ) > N6 ( $M_s < 5,5$ ). Esto es el resultado del diferente nivel de articulación entre los tipos de corteza, del estilo tectónico, de la dinámica, de los tipos y de las categorías de las fallas, de la distancia a la principal estructura disyuntiva de la región y del tiempo de acumulación - liberación de la energía. En este sentido existe una marcada gradación de articulación (en orden decreciente) en las direcciones oeste-este y sur-norte, que comprende a los puntos N1 (Cabo Cruz), N4 (Baconao) y N2 (Maisí), y desde el punto N5 (Cauto-Bayamo) hacia los puntos N3 (Nipe) y N6 (Puerto Padre), respectivamente
- indicamos, por último, que una cuarta celda representada en los dibujos no se analiza por estar enmarcada en la UNOc y no conocer con precisión su extensión al oeste.

A manera de comprobación de nuestra propuesta se expone un resultado de geología estructural y reconstrucciones palinspáticas obtenido en el Instituto Minero-Metalúrgico de Moa por Blanco y Proenza (1994). Estos especialistas afirman que un total de diez terrenos tectonoestratigráficos componen a la región de Cuba Oriental y que esta última

está limitada por las siguientes fallas: Bartlett, Cauto Sur (o Cauto-Nipe), Sabana (o Nortecubana) y Baconao, aunque también señalan otras de menores dimensiones. Así, la correspondencia entre nuestras celdas y los terrenos es como sigue: celda I- terreno montañoso de la Sierra Maestra; celda II- cinco terrenos de montaña: Asunción, Puriales-Moa, Guaso, Mayarí-Sierra de Cristal, y San Luis; y celda III- dos terrenos de alturas: Cauto-Nipe (parte norte) y Maniabón. Además, sostienen por consideraciones geodinámicas que: 1) Cuba Oriental es un territorio que muestra en sus formaciones geológicas muy estrecha relación espacio-temporal con el complejo proceso del origen y el desarrollo de la fosa de Bartlett-Caimán; 2) la región oriental de Cuba es un megaterreno tectónicamente elevado y en ascenso desde el Eoceno Superior; 3) la cuenca Cauto-Nipe es del tipo tensional con tendencia rotacional; y 4) las montañas de Sierra Maestra, Purial y Maniabón son típicos bloques *horst* de distinta categoría.

Por último, apuntamos que Hernández *et al.* (1990) delimitó a partir de investigaciones geomorfológico-estructurales para la parte suroriental de Cuba (área de Cauto-Nipe a Cabo Cruz-Baconao, que se corresponde con nuestra celda I) 6 nudos morfoestructurales sismoactivos. De ellos sólo dos, los que componen B-C y Baconao y C-N y Baconao, coinciden plenamente con nuestras propuestas; mientras que el resto de nudos son estructuras de menor categoría que, evidentemente, aunque se delimitaron no se consideran en el modelo cinemático aquí expuesto.

#### **c.4 Conclusión para el modelo de Cuba Oriental**

El modelo M2 de tres celdas dinámicas (I- Sierra Maestra, II- Nipe-Cristal-Baracoa, III- Maniabón), que incluye fallas y nudos activos, aquí propuesto para la Unidad Neotectónica Oriental permite esquematizar, con cierto éxito, la generación preferente de terremotos ( $h \leq 25$  km) en tres áreas diferentes: la Suroriental (los más fuertes  $M_s < 8,0$  y frecuentes), la Oriental (muy fuertemente relacionada con la anterior, pero con eventos de  $M_s \leq 6,5$ ) y la Occidental (la menos activa  $M_s < 6,0$ ); además facilita la explicación de la presencia de una cuenca de tipo *pull-apart* en las inmediaciones de la zona del Cauto, así como la imposibilidad de una estructura similar en la zona de Nipe. Este modelo cinemático rotacional horario puede ser considerado, en primera instancia, como base alternativa para una más adecuada regionalización sísmica de Cuba Oriental.

#### **d) Valoración subjetiva**

Un recorrido por la literatura especializada demuestra, sin grandes dificultades, que el estudio sismotectónico de una región y sus resultados dependen fundamentalmente de la cantidad de información y su calidad. Sin embargo, **el interés económico**, que nunca se reconoce en los textos, es el decisivo (Cotilla, 1993). Este factor ha sido realmente la causa de que para el límite norte de la placa Caribe, zona donde se han producido fuertes eventos sísmicos y algunos tsunamis destructores, aún no exista un modelo sismotectónico regional. Un modelo de esas características permitiría elaborar, sobre su base, un plan eficaz para la preservación de la vida y los escasos bienes y recursos de los países que le constituyen. Esto no significa que alguno de esos países no haya desarrollado modelos locales (Draper, 1989) con sus correspondientes planes de contingencia, sino que la base informativa disponible ha resultado ser insuficiente y poco eficaz (Álvarez *et al.*, 1985). No obstante, trabajos recientes, principalmente de especialistas norteamericanos y europeos, evidencian no sólo un mayor interés científico por el margen Caribe-Norteamérica, sino también una calidad superior de la

información de base y de los resultados, aunque se continúa enfrentando el problema desde una perspectiva local.

A partir de publicaciones y de algunos resultados alcanzados en el período 1996-1997 Cotilla y Udías (1999a) proponen un modelo geodinámico (Fig. 10.3), que consideran preliminar, para el límite litosférico Caribe-Norteamérica. Pero, con anterioridad varios modelos habían sido desarrollados para el Caribe entre ellos: MacDonald (1976), Minster y Jordan (1978), Sykes *et al.* (1982), Stein *et al.* (1988) y Ross y Scotese (1988). Heubeck y Mann (1991) realizan, para los cuatro de primeros, una discusión detallada que les permite proponer un modelo esquemático de tres bloques e igual número de polos de rotación. Dos de los polos están ubicados al norte y el otro al sur. Los polos del norte se relacionan con los bloques occidental y oriental, mientras que el polo del sur lo está con el bloque central. El límite del bloque occidental con el central lo suponen a través de la depresión de Honduras y con un sistema de expansión en la parte norte y convergencia al sur. Para el límite de los bloques central y oriental utilizan la Dorsal de Beata, en consecuencia hay sólo convergencia. Este modelo aunque muy esquemático es interesante, ya que explica muchas incongruencias de los modelos geodinámicos hasta ese momento elaborados y propone una idea para la solución del problema regional, pero no asume las notables diferencias de las partes interna y periféricas de la placa Caribe.

Sobre toda esa base de los datos y argumentos se expone un nuevo modelo que conjuga las estructuras transversales rígidas y plásticas, relacionadas entre sí al menos desde el Eoceno Superior, en la placa Caribe y sus zonas límites. Ese modelo tiene un total de ocho bloques, cuatro de ellos cubren casi íntegramente la placa Caribe y los otros están en la zona límite septentrional. La actividad de los cuatro primeros bloques (Caribe Occidental, Caribe Central, Caribe Centro-Oriental y Caribe Oriental) está determinada por el sistema litosférico Pacífico-América y la de los bloques septentrionales (Swan, Gonave, Cuba Oriental y Dominicana-Puerto Rico) por las placas Norteamérica y Caribe. Con este doble esquema no sólo se explican satisfactoriamente los distintos valores de velocidad relativa de las placas, la sismicidad y los mecanismos focales, sino que se resuelve la independencia dinámica de las microplacas (o bloques) de la zona límite septentrional con relación a la zona interior de la placa Caribe.

Las tablas 10.1 y 10.2 reúnen un conjunto de características de los bloques septentrionales incluidos sus terremotos con  $M_s \geq 6,9$ . Estos fueron tomados de (Cotilla, 1993) quien previamente realizó un minucioso trabajo de recopilación de diversas fuentes, entre ellas (Álvarez *et al.*, 1985; Chuy y Álvarez, 1988; Chuy *et al.*, 1988; Cotilla y Udías, 2000), y de filtrado de la información de base utilizada por esos autores.

Indicamos que en la parte meridional de la placa Caribe sólo se distingue aquí en líneas discontinuas los posibles bloques que deben constituirlos; ya que su delimitación y evaluación escapan al objetivo de la investigación. Este trabajo resulta coherente con el mapa de la colisión entre las placas Caribe y Norteamérica para tres etapas diferentes, Paleoceno-Eoceno Inferior, Eoceno Inferior- Eoceno Medio, Eoceno Superior-Reciente de Mann *et al.* (1995); ya que para esos autores hubo una modificación sucesiva, en la dirección del movimiento de la placa Caribe, del tensor de esfuerzos. En la última etapa consideran sólo desplazamientos laterales a la izquierda y en particular para la microplaca Gonave y La Española-Puerto Rico.

Tabla 10.1.- Resumen de los datos de los bloques.

No	Bloque	Límites	Características
1	Swan	Zona de subducción Pacífico, fallas Chixoy – Polochic – Motagua – Swn y Centro de Generación de Corteza	Área continental y marina. Hay vulcanismo asociado a la zona de subducción y probable en las inmediaciones del Centro de Generación de Corteza Oceánica. Se han reconocido sismodislocaciones. La sismicidad es más significativa en la parte continental
2	Gonave	Centro de Generación de Corteza – fallas Oriente / Walton / Enriquillo / Plantain Garden / Bonaó	Área mariana e insular. Probable actividad volcánica en la Zona del Centro de Generación de Corteza Oceánica. Los niveles de sismicidad son altos. En la parte insular hay bloques menores
3	Cuba Oriental	Fallas Oriente / Norte y Surcubana / Cauto Nipe	Área insular. Los niveles de sismicidad son intermedios y altos. Hay bloques menores
4	La Española-Puerto Rico	Sistema Septentrional – Bonaó, Camú, Muertos, Puerto Rico y zona de subducción del Atlántico	Área insular y marina. El nivel de sismicidad es alto. Hay subducción sin vulcanismo

Tabla 10.2.- Características de terremotos en los bloques.

No	Mecanismo	Ms	h (km)	Fecha	Ms
1	Transcurrente sinestroso en la parte marina e inverso en la continental	7,5	30-100	1910.01.01 1914.05.28 1976.02.04	7,0 7,5 7,5
2	Combinación de inverso y transcurrente sinestroso	8,0	70	1770.06.04 1842.05.07 1852.07.07 1887.09.23 1897.12.29 1899.06.14 1941.04.07 1952.10.28	(7,9) (8,25) (7,7) (7,9) (7,0) (7,3) 7,0 7,0
3	Combinación de transcurrente sinestroso e inverso	<8,0	30	1766.06.11 1852.08.20 1917.02.20 1992.05.25	(6,8) (7,3) (7,1) 6,9
4	Combinación de inverso y transcurrente sinestroso	8,1	30-140	1562.02.03 1673.05.09 1751.10.18 1897.12.29 1902.02.17 1911.10.06 1917.07.27 1918.10.11 1918.10.25 1943.07.29 1946.08.04 1948.04.21	(7,2) (7,5) (7,25) (7,5) (6,9) (7,0) (7,0) (7,3) (7,0) (7,75) (8,1) 7,3

Las investigaciones sísmicas multicanales para la placa del Caribe de Maufret y Leroy (1997) demuestran su procedencia del Pacífico y su sucesiva tendencia, incluso en la época actual, de desplazamiento al este, con la consiguiente dispersión de estructuras y elementos tectónicos de ese dominio. Esos autores encontraron que la zona de subducción del Atlántico es considerablemente más antigua que la del Pacífico. También aseguran que a pesar de que la estructura litosférica de la placa Caribe es

relativamente delgada, hay en ella importantes contrastes geoestructurales y en particular con relación a sus zonas de borde (septentrional y meridional). Estas últimas son de tipo oceánico y oceánico transformado. Evidentemente, eso confirma muchos aspectos de nuestro modelo.

En conclusión se puede decir que la situación sismotectónica de la región Norteamérica-Caribe es compleja como corresponde a una colisión entre placas litosféricas continental y oceánica. En ese marco geodinámico interviene un conjunto de cinco placas (Caribe, Cocos, Nazca, Norteamérica y Suramérica) que ha conformado un sistema de microplacas (o bloques) y tectónica sino también la sismicidad. Se insiste en el carácter preliminar del modelo expuesto aunque quedan establecidas algunas cuestiones importantes como que:

- La intensidad de los procesos tectónicos y de la actividad sísmica en la región del Caribe está determinada por las velocidades relativas de los movimientos horizontales de las placas adyacentes
- En los márgenes de la placa del Caribe se localiza una deformación importante y diversa de la litósfera y en consecuencia se libera la mayor cantidad de energía sísmica
- El borde septentrional de la placa Caribe aunque muy heterogéneo no está aleatoriamente ordenado, ya que se corresponde tectónicamente muy bien con las estructuras adyacentes
- La actividad sísmica del límite Caribe-Norteamérica depende principalmente del sistema de placas de Norteamérica y del Caribe, pero en el extremo occidental está determinado por la placa Cocos.

## **ANEXOS**

Tabla A2.- Escala (resumida) de Intensidades Sísmicas MSK

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>
<b>I</b>	Registrado sólo instrumentalmente.
<b>II</b>	Perceptible únicamente por pocas personas en pisos altos.
<b>III</b>	Perceptible por algunas personas en edificios. Ligero balanceo de objetos colgados.
<b>IV</b>	Sentido por todos en el interior de edificios y por algunos en el exterior. Vibración de puertas y ventanas, balanceo de objetos colgados y movimiento de muebles.
<b>V</b>	Sentido por todos tanto en el interior como en el exterior de edificios. Caída de objetos ligeros, golpear de puertas y ventanas. Ligeros daños en construcciones de tipo A.
<b>VI</b>	Temor generalizado. Posible rotura de vajillas, caída de objetos, movimiento de muebles pesados. Daños moderados en construcciones de tipo A, ligeros en construcciones de tipo B. Grietas pequeñas en terrenos, deslizamientos y cambios de nivel en pozos.
<b>VII</b>	Mayoría aterrorizada. Graves daños en construcciones de tipo A, llegando a destrucción completa, daños moderados en las de tipo B y daños ligeros en las de tipo C. Deslizamiento de tierras, cambio de caudal en manantiales y pozos.
<b>VIII</b>	Miedo y pánico general. Destrucción y algunos colapsos en construcciones de tipo A, daños graves y alguna destrucción en las de tipo B, daños moderados y alguno grave en las de tipo C. Derrumbamiento de muros, deslizamiento de laderas y barrancos, grietas grandes en el terreno, cambios de caudal.
<b>IX</b>	Pánico general. Colapso de construcciones de tipo A, y en algunas de tipo B, también daños graves y alguna destrucción en las de tipo C. Rotura de carreteras y doblamiento de raíles. Numerosas grietas en el terreno y desprendimiento de rocas y tierras. Licuefacción, extrusión de agua, arena y fango.
<b>X</b>	Colapso de la mayoría de construcciones de tipo A y en algunas de tipo B, así como destrucción de muchas y colapso de las de tipo C. Serios daños en puentes y presas, ondulación de raíles y pavimentos. Grandes grietas en el terreno con fuertes deslizamientos y formación de lagos.
<b>XI</b>	Daños importantes en todo tipo de construcciones, carreteras fuera de servicio y canalizaciones destruidas. Deformaciones considerables en el terreno con anchas grietas y muchos deslizamientos de tierras.
<b>XII</b>	Todas las estructuras destruidas o gravemente dañadas. Cambios en la topografía, grandes grietas con importantes desplazamientos, desviación de ríos y formación de lagos.

<b>Tipo de construcción</b>
<p><b>A:</b> Muros de mampostería en seco o con barro, adobe y tapial.</p> <p><b>B:</b> Muros de ladrillos, bloques de mortero, mampostería con mortero, entramado de madera.</p> <p><b>C:</b> Estructura metálica o de hormigón armado.</p>

Tabla A4.- Errores frecuentes de terminología

Nº	Término incorrecto (comentario)	Término correcto
1	Período de tiempo (todos los periodos son de tiempo)	Período
2	Intensidad de Richter (la intensidad es una medida macrosísmica y la magnitud es de tipo instrumental)	Magnitud de Richter
3	Escala Sísmica MKS (la escala sísmica se refiere a las iniciales de sus creadores M= Medvedev, S= Sponheuer, K= Karnik)	Escala Sísmica MSK

Tabla A5.- Relación de los peligros principales asociados con los terremotos

Orden	Descripción
1	Movimientos (temblores) del terreno. [Hundimiento y levantamiento diferenciales del terreno; deslizamientos y avalanchas de cuerpos rocosos y de tierras; liquefacción]
2	Movimientos del terreno a lo largo del trazo superficial de las fallas
3	Movimientos de las masas de agua. [Tsunamis y seiches; inundaciones por los derrames de agua desde embalses, pantanos y diques]
4	Generación de incendios
5	Derrumbes de edificios

Tabla A6.- Algunas de las medidas para - sísmicas de nivel personal e individual en las zonas de peligro sísmico muy alto a moderado

<b>GENERALES</b>
<b>Previo a un terremoto:</b> 1) Ser previsor y tener a mano, en un sitio de fácil acceso y conocido por todos, un botiquín de primeros auxilios, una linterna y un extintor; 2) Informar de forma concreta, pero sin alarmismo, a sus familiares sobre los desastres naturales y en específico de los terremotos; 3) Entrenar a la familia en el plan de actuación ante la ocurrencia de sismos.
<b>Durante el terremoto:</b> 1. Conservar SIEMPRE la calma 2. Infundir tranquilidad a las demás personas 3. No propalar rumores 4. Prestar ayuda a los niños, ancianos y mujeres 5. No utilizar los ascensores 6. No utilizar los teléfonos 7. Cerrar las llaves y mecanismos de la corriente eléctrica y del gas 8. Protegerse bajo los marcos de las puertas, o mesas 9. Abandonar los edificios y puentes 10. Alejarse de las ventanas de vidrio – cristal 11. Apurar el paso, pero no correr 12. Buscar espacios abiertos como parques y avenidas 13. No tocar cables colgantes ni caídos 14. Alejarse de los depósitos y estaciones de combustibles 15. Alejarse de la línea costera 16. Recordar que los sismos generalmente se acompañan de varias sacudidas
<b>ESPECÍFICAS</b>
Las escuelas y centros comerciales (centros públicos en general) deben tener: A) indicados: 1) los lugares de salida de emergencia; 2) los medios contra incendios B) revisados y en perfectas condiciones las salidas de emergencia y los sistemas y medios contra incendios C) entrenado al personal para contingencias



Tabla A3. - Síntesis de las etapas fundamentales de la historia geológica de la Tierra

<b>EÓN</b>	<b>ERA</b>	<b>PERÍODO</b>	<b>ÉPOCA</b>	<b>ACONTECIMIENTOS PRINCIPALES</b>	<b>HACE MILLONES DE AÑOS</b>
FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO PLEISTOCENO	Fin de las glaciaciones. Elevación del nivel del mar. Agricultura humana. Grandes glaciaciones cuaternarias. Aparición del hombre.	66
		TERCIARIO	PLIOCENO	Aparición de los Australopithecus en África.	
	MIOCENO		Emergencia de los Andes.		
	OLIGOCENO		Colisión entre África y Eurasia. Comienzo de desarrollo de los Alpes y de los Apenninos.		
			EOCENO	Colisión entre India y Eurasia. Se forman el Himalaya.	
	PALEOCENO		Emergencia de las Montañas Rocallosas. Surge el reino de los mamíferos.		
	MESOZOICO		CRETÁCICO	Culminación del reino de los dinosaurios que después se extinguieron. Contemporáneamente se extinguen en los océanos los amonites y los microscópicos Globotruncata.	
	JURÁSICO	Pangea comienza a fragmentarse. Comienza la apertura del Atlántico. Surgen las primeras aves.			
	PALEOZOICO	TRIÁSICO	Se instaure el reino de los reptiles.		
		PERMICO	Colisión entre Asia y Europa. Surgen los Urales. Todos los continentes se reúnen en uno, y forman Pangea. Se produce la colisión entre África y América del Norte. Surgen los Apalaches.	245	
CARBONÍFERO DEVÓNICO		Se establecen grandes bosques y hay difusión de insectos alados- Se produce la colisión entre Europa y América del Norte. Se desarrolla la Cadena Caledoniana.			
		SILURICO	Emerge la vida del agua e invade los continentes.		
ORDOVICICO		Aparecen los primeros vertebrados, los peces.			
CÁMBRICO		Surgen los primeros animales con concha y esqueleto.			
PROTEROZOICO			Gran glaciación. Primera asociación segura de animales pluricelulares de cuerpo blando. Primeros animales de cuerpo blando. Primeros fósiles seguros: algas. Primeros estromatolitos. Primeras estructuras de posible origen biogénico (algas unicelulares o bacterias). Primeras rocas sedimentarias. Primeras lluvias. Formación de grandes extensiones de agua. Erosión y acumulación de sedimentos. Solidificación de la primera corteza terrestre.		570
		ARCAICO	Enfriamiento de la parte externa del planeta Tierra. Reasentamiento por gravedad del interior del planeta y subdivisión capas con densidad creciente. Recalentamiento progresivo hasta la fusión casi completa. Formación de la Tierra a partir de un proceso cósmico.		



Tabla A7.- Selección de los terremotos más fuertes del Mundo

<b>Nº</b>	<b>Fecha</b>	<b>País (localidad)</b>	<b>Magnitud</b>
1	01.11.1755	Portugal (Lisboa)	8,7
2	15.06.1896	Japón (Sanriku)	8,5
3	31.01.1906	Colombia-Ecuador	8,8
4	16.12.1920	China (Ningxia-Kansu)	8,6
5	15.08.1950	Assam-Tibet	8,6
6	09.03.1957	Islas Aleutinas	9,1
7	22.05.1960	Chile	9,5
8	28.03.1964	Alaska	9,2
9	04.02.1965	Islas Aleutinas	8,7

Tabla A8.- Selección de los terremotos más fuertes de América

<b>Nº</b>	<b>Fecha</b>	<b>País (localidad)</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Víctimas</b>
1	31.06.1906	Colombia-Ecuador	8,8	1.000
2	17.08.1906	Chile (Valparaiso)	8,2	20.000
3	22.05.1960	Chile	9,5	5.700
4	19.09.1985	México (Michoacan)	8,0	9.500
5	09.06.1994	Bolivia	8,2	5
6	23.06.2001	Perú	8,4	75

Tabla A9.-Selección de los terremotos más fuertes de Centroamérica y el Caribe

<b>Nº</b>	<b>Fecha</b>	<b>País (localidad)</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Víctimas</b>
1	19.04.1902	Guatemala	7,5	2.000
2	31.01.1906	Colombia	8,9	1.000
3	14.01.1907	Jamaica (Kingston)	6,5	1.600
4	31.03.1931	Nicaragua	5,6	2.400
5	23.12.1972	Nicaragua (Managua)	6,2	5.000
6	04.02.1976	Guatemala	7,5	23.000
7	10.10.1986	El Salvador	5,5	1.000
8	13.01.2001	El Salvador	7,7	844

## **CONCLUSIONES FINALES**

## Conclusiones finales

Luego de recorrer los diez capítulos del libro, que sometemos a la consideración de los lectores, especialistas y no especialistas, se impone realizar un aparte para componer un conjunto de conclusiones sobre la Sismología en Cuba. Esto, evidentemente, no supone que aquí se agrupen todas las conclusiones particulares y específicas de esos diez capítulos, sino las ideas básicas que el autor considera como las principales. Así, se puede decir que:

- 1- La Sismología en Cuba se sustentó desde el siglo XIX en los esfuerzos de varios científicos, considerados la plataforma intelectual de las siguientes generaciones. Ellos son: Andrés Poey y Aguirre, Benito Viñes Martorell, SJ, Pedro Salterain y Legarra, Mariano Gutiérrez Lanza, SJ, y Eduardo Montouliou y de la Torre
- 2- El primer catálogo de terremotos para Cuba, incluida las Indias Occidentales, lo confeccionó en 1855 Don Andrés Poey y Aguirre. Las primeras isosistas de terremotos las dibujó el Padre Mariano Gutiérrez Lanza, S.J. para el terremoto de 1914 de Gibara-Holguín
- 3- La primera vez que se realizó un estudio sobre el terreno, en Cuba, para el estudio de un terremoto fue en el año 1880 en la provincia Pinar del Río, por Benito Viñes Martorell, S.J. y Pedro Salterain y Legarra
- 4- En la Academia de Ciencias, Física, Médicas y Naturales de La Habana se constituyó un foro adecuado para la presentación de las ideas y resultados de los especialistas de la Ciencias de la Tierra en Cuba, y en particular de la Sismología
- 5- Bajo la dirección del Colegio de Belén de La Habana, en la localidad de Luyanó, se construyó y funcionó la primera estación sismológica en Cuba
- 6- El terremoto de 1932 en Santiago de Cuba fue estudiado al detalle, y con extremo rigor, por un colectivo de especialistas cubanos, dirigidos por el Ingeniero Eduardo Montelieu y de la Torre. Existe un extenso y documentado informe que incluye el dibujo de las isosistas del evento principal
- 7- En el denominado “Periodo Revolucionario” (desde el año 1959 hasta la fecha) se han formado un número importante de especialistas en el campo de la Sismología. La mayor cantidad de ellos fue en los años del decidido y decisivo apoyo de la ex-Unión Soviética. En la actualidad existe participación en cursos y trabajos de colaboración con países del área capitalista
- 8- Las estaciones sismológicas de Soroa (año 1964) y Río Carpintero (año 1965), en las provincias Pinar del Río y Santiago de Cuba, respectivamente, fueron construidas por las donaciones de la ex- República Democrática Alemana y la ex-URSS. Otras estaciones han funcionado de forma temporal en distintas zonas del país, y alrededor de ocho de forma permanente, pero con diversas dificultades. En la actualidad se dice hay en operación una red sismotelemétrica en Santiago de Cuba y una red nacional, que incluyen estaciones de Banda Ancha. Sin embargo, los datos de las informaciones emitidas por las redes internacionales sobre terremotos ocurridos en Cuba no las incluyen
- 9- Con posterioridad al año 1959 fueron publicadas en el marco de la Academia de Ciencias de Cuba las revistas: a) Investigaciones Sismológicas en Cuba, b) Comunicaciones Sobre Geofísica y Astronomía, c) Ciencias de la Tierra y del Espacio, y el Atlas Nacional de Cuba. Además, se ha realizado en Cuba un importante número de eventos científicos e impartido algunos cursos de posgrado y doctorales en el campo de la Sismología

- 10- Hasta el presente no existe consenso sobre las fallas, y en particular las fallas activas, entre los especialistas nacionales y extranjeros que han trabajado en Cuba. Con relación a esto se han expuesto las principales dificultades, siempre bajo la perspectiva del autor, de los trabajos sismotectónicos ejecutados en Cuba
- 11- Los resultados científicos más relevantes fueron alcanzados en dos proyectos científicos (o temas de investigación): a) 31001- Estudio de la sismicidad de la región Caribe y estimación preliminar de la peligrosidad sísmica en Cuba; y b) 430.03- Sismicidad de Cuba. Ellos dieron paso entre otras cosas: a las cuatro primeras tesis doctorales, a la organización del Servicio Sismológico Nacional, al desarrollo de la red sismotelétrica en Santiago de Cuba, y a los mapas neotectónico y sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000
- 12- Han sido analizados, con cierta amplitud, los catálogos de terremotos de Cuba. Y se ha concretado sus dificultades
- 13- Se han expuesto dos modelos para explicar la generación de terremotos en Cuba Oriental y Cuba Occidental
- 14- Cuba demuestra estar, aún en la actualidad, bajo un centralismo y excesivo control institucional y personal, que limita el desarrollo científico, al menos en el campo de la Sismología.

## Para la LINEA 300

### Datos Personales:

Mario Octavio COTILLA RODRÍGUEZ  
51108991R

Profesor Asociado (Tipo II) a Tiempo Parcial  
Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica I (Geofísica y Meteorología)  
Facultad de Ciencias Físicas  
Universidad Complutense de Madrid  
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid  
Teléfonos: 913945007, 913945190  
Fax: 913944398  
e-mail: [macot@fis.ucm.es](mailto:macot@fis.ucm.es)

---

**Título del libro:** “Un recorrido por la Sismología de Cuba”

**Sinopsis:** Se presenta, por primera vez, un texto sobre la Sismología en Cuba con toda la información disponible, a partir de una extensa búsqueda bibliográfica en Cuba, España, Estados Unidos de Norteamérica, Francia, Jamaica, Reino Unido, República Dominicana y México, de los acontecimientos del campo sismológico en Cuba. Esta obra abarca los segmentos histórico (siglos XV-XIX) y contemporáneo, resaltando la labor de los especialistas que por razones diversas ha sido omitida o censurada. Con este trabajo se quiere rendir un merecido tributo a la memoria de los fundadores de la Sismología Cubana, los españoles Benito Viñes Martorell, S.J. y Mariano Gutiérrez Lanza, S.J., y al cubano Andrés Poey y Aguirre.

El libro está compuesto de 10 capítulos. Los dos primeros capítulos, así como las tablas anexas, que incluyen un glosario, son informativos y deben servir de ayuda al lector poco familiarizado con la temática. Los otros ocho capítulos se dedican a temas específicos, en los que se discuten los resultados alcanzados en el terreno de las investigaciones sismológicas en distintos períodos y señalan las dificultades a ellos asociadas. Las abundantes ilustraciones gráficas facilitan la exposición de los temas. Con la finalidad de apoyar, los muy deseables, futuros trabajos de especialistas, nacionales y extranjeros, las referencias han sido separadas en tres grupos independientes. Ellas responden a los resultados: 1) alcanzados en Sismología [aplicada en Cuba]; 2) que sirvieron de modelo para las investigaciones cubanas; 3) de otros campos de la Ciencia que permitieron el desarrollo de las investigaciones sismológicas en Cuba.

La actividad sísmica de Cuba es desconocida, aún en la actualidad, fundamentalmente por razones políticas, lo que ha limitado el intercambio científico y la divulgación de los resultados alcanzados. Inclusive, su población considera que es sólo la parte oriental, y específicamente Santiago de Cuba, la única zona donde pueden ocurrir terremotos. En este sentido, el trabajo pretende por una parte llenar el vacío literario, que sobre este tema existe al

nivel internacional, y por la otra ilustrar, con datos y no con discursos distorsionados, a los cubanos de lo incorrecto de esa idea.

Se presentan, por primera vez, los catálogos de terremotos de Poey y de Montelieu, con sus fuentes originales, ya que ellos son la base de todos los catálogos elaborados con posterioridad. También se demuestra la inconsistencia de algunos de esos trabajos, y se comentan las causas y consecuencias.

**Resultado de investigación vinculado a:** 1) Año Sabático del Ministerio de Educación; 2) Beca Post-doctoral de la Comunidad de Madrid.

La aplicación de esas becas de investigación fue en el Departamento de Geofísica y Meteorología, UCM.

Los Responsables fueron para: 1) el Año Sabático, el Prof. Agustín Udías Vallina; 2) la beca Post-doctoral, el Prof. Diego Córdoba Barba. Ambos Profesores del mencionado Departamento.

---

### **Breve Currículum Vitae:**

1) Doctor en Ciencias Físicas

Especialidad Geofísica (Sismotectónica y Peligrosidad Sísmica).

2) Investigador Auxiliar del Instituto de Geofísica y Astronomía (de la antigua Academia de Ciencias de Cuba) [Período 1970-1995]

- Responsable del Servicio Sismológico Nacional de Cuba
- Responsable del Departamento de Sismología
- Responsable de las Investigaciones de Sismicidad y la Red de Estaciones Sismológicas en Proyecto de la Central Electronuclear de Holguín
- Responsable del Grupo de Investigación Desarrollo de Estudios e Impactos Medioambientales en el Municipio La Lisa, Ciudad de La Habana
- Responsable del Grupo de Investigación de Tectónica y Geotermia.

3) Participación en 30 Proyectos Científicos

Investigador Principal en 10 Proyectos (Temas) de investigación científica

Autor de más de 60 trabajos

Participación en más 20 eventos científicos nacionales e internacionales

Profesor de 10 cursos de post-grado / doctorado

Director de 18 trabajos académicamente dirigidos

Reconocimiento estatal / institucional por tres resultados científicos en los años 1990, 1992 y 1993.

4) Dominio de los siguientes idiomas: Alemán, Inglés y Ruso

---

Fecha: 17.12.2003

Lugar: Madrid

Firma:

Tabla A1.- Glosario

<b>Término</b>	<b>Definición</b>
Absorción	Proceso que transforma en calor la energía de las ondas sísmicas al atravesar un medio dado.
Absorción de energía	Conversión de energía mecánica o radiante en energía interna de un sistema.
Aceleración	Cambio de velocidad que sufre un cuerpo en movimiento, ya sea al aumentarla o disminuirla. Segunda derivada del vector velocidad respecto al tiempo.
Aceleración de la gravedad	Aceleración en la caída libre de un cuerpo. Es la resultante de la aceleración gravitatoria y la debida a la rotación terrestre. Se representa por la letra g.
Acelerógrafo	Instrumento de tipo sismológico, que sirve para registrar la aceleración del suelo. Consta por lo general de dos partes: el sensor (triaxial) y el sistema de discriminación y registro.
Acelerograma	Registro que muestra la ley de evaluación temporal de la aceleración del movimiento del suelo provocado por un evento de carácter sísmico. Puede ser obtenido mediante el empleo de los acelerógrafos o calculados mediante algoritmos, en ese caso se denominan sintéticos.
Acelerograma calculado	Acelerograma que puede partir tanto de consideraciones teóricas solamente, como de una mezcla de datos experimentales y consideraciones teóricas.
Acelerograma sintético	Acelerograma que permite obtener la duración de la fase fuerte (por encima de un nivel dado) del sismo.
Acelerómetro	Sismómetro que se utiliza para medir las aceleraciones del suelo en función del tiempo.
Actividad sísmica	Conocida también como actividad de tipo sísmico. El número de terremotos que ocurre para una región con un nivel prefijado de magnitud normalizado para un valor de superficie (habitualmente 1000 km <sup>2</sup> ).
Agrietamiento	El conjunto de grietas que afecta a una masa de rocas.
Ajuste isostático	Proceso por el cual se mantiene o restablece el equilibrio isostático.
Alineamiento	Elemento de la estructura de la superficie terrestre que puede ser de distinta naturaleza y figura geométrica (lineal o curvo).
Altitud	Distancia de un punto a un plano horizontal o a una superficie de referencia determinada.
Altura	La máxima dimensión vertical de un objeto.
Altura absoluta	La distancia medida en forma vertical entre cualesquiera punto de la superficie terrestre y el nivel medio del mar. Puede ser positiva o negativa atendiendo a un sistema de referencia.
Amplitud	De una onda es la altura máxima de la cresta o del valle de una onda.
Análisis	En griego significa descomposición. Desintegración de un objeto o fenómeno en las partes simples que lo constituyen.
Análisis de sismogramas	Proceso complejo y necesario para la determinación de los parámetros que caracterizan a un terremoto. En él se determinan entre otros: tiempo de origen, coordenadas y magnitud.
Análisis espectral	Análisis fundado en el estudio de los espectros. Descriptor en el dominio de la frecuencia de la composición y contribución de diferentes frecuencias o componentes espectrales en una señal. Medida de la amplitud de los componentes de una onda compleja en función de las frecuencias a las que corresponden.
Análisis tensorial	Estudio de los tensores y de las operaciones efectuadas con ellos, en especial todas las referentes a la derivación y diferenciación de campos tensoriales.
Ancho de banda	Diferencia entre las frecuencias que limitan una banda espectral.
Ángulo	Figura geométrica, cantidad aritmética o cantidad algebraica con signo determinado por dos radios que salen de un punto común, o por dos planos que salen de una misma línea.
Ángulo crítico	Ángulo de incidencia de una onda sísmica al llegar a la discontinuidad de Conrad, para el que el ángulo de emergencia es de 90°. Si el ángulo de incidencia fuera superior al ángulo crítico la onda se reflejaría.
Ángulo de emergencia	Ángulo de refracción de una onda sísmica.
Ángulo de flancos	El ángulo formado por los flancos de un pliegue.
Ángulo de incidencia	Ángulo que forma el rayo incidente a una superficie con la normal a ésta en el punto de contacto.
Ángulo de reflexión	Ángulo que forman un rayo reflejado y la normal a la superficie reflectora, en el punto de incidencia.
Ángulo de refracción	Ángulo que forman un rayo refractado y la normal a la superficie refractante, en el punto de incidencia.
Anisotropía	Propiedad de las sustancias que representa diferentes características según se consideran diferentes direcciones a través de ellas.
Anomalía	La desviación de un valor o característica uniforme o normal. Variación local y rápida de una magnitud que para la región y como valor medio, cambia relativamente poco.

Anomalia de la gravedad	Valor del campo gravimétrico terrestre medido en un lugar con respecto a un punto patrón. Diferencia entre el valor de la gravedad observada, reducida al nivel del mar, y la gravedad teórica obtenida mediante la fórmula de la gravedad. Diferencia entre la gravedad observada reducida al geoide y la teórica sobre el esferoide para un punto de la superficie terrestre. Anomalia de Aire Libre: Conocida también como anomalia de Fay (o Faye), es una anomalia en la cual la gravedad observada se corrige solo eliminando los efectos procedentes del campo normal y añadiendo el efecto producido por la disminución de la gravedad en relación con su valor a nivel del mar, en virtud de la altura. Anomalia de Bouguer: Anomalia en la cual la gravedad observada se corrige eliminando los efectos procedentes del campo normal y de la capa de rocas intermedias entre el Geoide y el punto donde se determinó la gravedad, y añadiendo el efecto producido por la disminución de la gravedad en relación con su valor a nivel del mar, en virtud de la altura del punto.
Anomalia isostática	Es una anomalia de la gravedad basada en la hipótesis generalizada de que el efecto de las masas de encima del nivel del mar se halla aproximadamente compensado por una diferencia de densidad de los materiales del subsuelo. La diferencia entre un valor observado de gravedad y el valor teórico del punto observado que fue corregido por la altitud de la estación encima del Geoide, y por el efecto de la topografía para toda la Tierra, y por la compensación isostática.
Anomalia topográfica	Anomalia de la gravedad calculada a partir de la suma del valor de la gravedad observada y la reducción de Bouguer completa menos el valor de la gravedad normal.
Antisísmica	Dícese de las construcciones especialmente diseñadas y previstas para que resistan a los movimientos sísmicos.
Año Geofísica Internacional	Periodo de colaboración internacional en el que se efectuaron observaciones en todo el campo de la geofísica desde una serie de observatorios distribuidos en el planeta y desde cohetes y satélites artificiales, en el periodo julio/1957 - diciembre/1958. (AGI).
Arco	Característica geológica o topográfica que se repite a lo largo de una línea curvada sobre la superficie terrestre.
Arco de islas	Rasgos complejos de la litosfera en los que solo existen algunos aspectos desorganizados de su estructura curva, tales como una profunda depresión oceánica, volcanes activos diseminados y actividad sísmica. Pueden constituir cadenas montañosas simples y compuestas (dobles paralelas: interior - volcánico - y externo - de deformación - ) separadas por una zona de fosa. Cadena de islas dispuestas generalmente en forma arqueada, y que ofrece su convexidad hacia el mar libre, próxima a los continentes.
Área pleitostática	Área de la superficie terrestre donde el sismo fue percibido. También se dice es el área donde se determina la mayor intensidad sísmica.
Asísmico	Que no manifiesta actividad sísmica alguna.
Aspereza	Irregularidad en una superficie de falla que retarda el deslizamiento. Región con una fuerza tangencial relativamente alta en una superficie de falla.
Astenosfera	Capa localizada en el manto superior y que respecto a las capas supra e infrayacentes es más plástica, menos viscosa y más susceptible a las deformaciones. También se le denomina capa débil. Es un concepto geofísico. Zona del interior de la Tierra localizada inmediatamente bajo la litosfera, gracias a la cual se puede establecer el equilibrio isostático.
Atenuación sísmica	Disminución de las oscilaciones del suelo y en consecuencia de su perceptibilidad y daños asociados en cualquier dirección.
Azimut	Ángulo medido en el sentido de movimiento de las agujas del reloj a partir del Norte y comprendido por tanto entre 0 y 360 grados. El ángulo formado por el plano vertical del objeto con el plano meridiano.
Banda	Porción delimitada de un fenómeno o estructura que puede existir con mayor amplitud.
Banda de deformación	Aquella franja del terreno muy tectonizada situada entre dos zonas poco deformadas.
Basamento	El conjunto de rocas que subyace en discordancia a la cubierta de rocas sedimentarias y que posee un estilo tectónico definido, y que ha sido afectado por deformaciones y metamorfismo, aunque pueden estar ausentes.
Bed rock	Anglismo. Término que identifica a un substrato duro que soporta o sostiene a sedimentos blandos o poco consolidados.
Bloque	Una masa rocosa de cientos de metros a cientos de kilómetros cuadrados limitada por fallas y que se comporta como una unidad morfoestructural, geoestructural o morfotectónica.
Brecha	Roca triturada y fracturada.
Brittle	Anglismo. Se dice de la roca que tiene fracturas con menos de un 5 % de deformación.
Caída de esfuerzos	La repentina caída de los esfuerzos en un plano de falla durante la ruptura.
Campo de fuerzas	Campo tensorial de orden n ( $n > 0$ ) que sobre una partícula puntual que contiene una cantidad de una determinada magnitud tensorial de orden n-1 (magnitud activa), ejerce una fuerza dada por el producto contracto del tensor intensidad de campo por el tensor cantidad de magnitud activa.
Campo macrosísmico	La distribución espacial de las intensidades sísmicas provocadas por un terremoto.
Campo tensorial	Campo en el que la magnitud viene dada por un tensor.

Canal sismométrico	Combinación armónica que existe entre el péndulo, el galvanómetro, el sismógrafo y el reloj de la estación sismológica. Sistema mediante el cual se acopla un sensor sísmico y el sistema amplificador - registro.
Capa sismoactiva	Aquella capa de la litosfera en que ocurren los terremotos. Se le conoce también como Esquizosfera.
Capa sismogénica	Capa (no mayor de los primeros 20 km) de la litosfera que es capaz de generar terremotos. Ella es lo suficientemente rígida como para romperse por fracturas frágiles, bajo la acción de los esfuerzos tectónicos.
Carga sísmica	Carga externa que actúa sobre una estructura y consiste esencialmente en un conjunto de ondas longitudinales y transversales que arriban a la superficie terrestre, moviendo la estructura hacia arriba, hacia abajo y lateralmente de forma aleatoria.
Carso	Conjunto de fenómenos y procesos que ocurren por la acción del agua en las regiones de rocas solubles y que se reconoce por las formas de relieve asociadas (superficiales y / o subterráneas). También se le denomina karst.
Catálogo	Relación extensa y ordenada de datos referenciados. Pueden ser de tipos diversos de acuerdo a la especialidad que los desarrolla. Ej. Catálogo de terremotos.- Conjunto informativo ordenado (de terremotos). Proporcionan los datos originales básicos para la elaboración de los diferentes mapas de sismicidad. Incluyen fecha y hora con la mayor exactitud posible, coordenadas del epicentro (indicando su precisión), profundidad del foco (idem), magnitud (por tipo), número de estaciones utilizadas y otros datos más.
Catástrofe	Término derivado del griego que originalmente designaba al desenlace (trágico o feliz) de un drama. Actualmente se emplea para designar un proceso o fenómeno que afecta al medio incluyendo a la sociedad. Puede ser de diferente tipo (natural o artificial) y magnitud, pero siempre originan una secuencia de otros procesos dañinos. Es un suceso que produce una ruptura temporal de la vida normal de la comunidad. Se pueden identificar dos componentes: 1- Fenómeno natural (terremotos, volcanes, tsunamis, deslizamientos, etc.) 2- Una vulnerabilidad social, es decir la indefensión de una comunidad amenazada por determinada alteración externa.
Catastrofismo	Hipótesis según la cual los fenómenos pasados se desarrollaron en forma rápida y violenta y con magnitudes muy superiores a las que existen en los fenómenos actuales en la corteza terrestre. Se opone al uniformismo.
Centro de generación de corteza	La región alargada, con fracturas profundas y activa por donde el magma emerge a la superficie terrestre. Se asocia con las cadenas submarinas y el desplazamiento lateral de las placas.
Ciclo	Sucesión de fases, comprendidas entre dos situaciones análogas por las que pasa un fenómeno.
Ciclo del terremoto	El período que abarca por completo un episodio de acumulación de energía y la deformación del relieve para una falla, un segmento de falla o una región determinada.
Ciclo geodinámico	Conjunto de fenómenos que afectan a la corteza terrestre y se repiten aproximadamente en un mismo orden, como resultado de fuerzas antagónicas externas e internas, y que producen desequilibrios y reajustes en los materiales que la forman.
Ciclo geomorfológico	Conjunto de fenómenos que afectan a la superficie terrestre, originando las diferentes formas del relieve. Se divide en: erosión, transporte y sedimentación.
Ciclo sísmico	Proceso de acumulación y relajación de esfuerzos. Donde la acumulación viene dada por los movimientos relativos de las placas y la fricción que impide o limita este movimiento a lo largo de las fallas que conforman el borde las placas.
Circo sísmico	Una forma del relieve (de forma similar a un circo glacial) originada por un sismo.
Cizalla	Esfuerzo. Se le denomina también shear.
Coda sísmica	Superposición aleatoria de ondas sísmicas que aparecen (inscriptas en el sismograma) con posterioridad a la última directa, cuya amplitud media disminuye exponencialmente hasta el nivel de ruido.
Código	Serie de reglas para expresar la correspondencia entre dos sistemas de signos o de términos. Se puede también representar la información.
Coefficiente	Factor que aparece como multiplicador en una función o en un término de una expresión algebraica. Puede caracterizar una propiedad de una ley o distribución.
Coefficiente de contingencia	Coefficiente que mide la diferencia entre la frecuencia actual y la esperada, supuesta la independencia de las características de una población.
Coefficiente de correlación	Medida de la dependencia estadística de dos variables aleatorias.
Colisión	El choque de dos masas continentales resultado del cierre de tipo oceánico.
Columna litológica	Diagrama ordenado de las divisiones del tiempo geológico para una región en que se incluyen los espesores, descripciones petrológicas y paleontológicas de las rocas.
Compensación isostática	La compensación de los excesos de masa en la superficie continental por defecto de densidad debajo de ésta y de superficies de defecto de masa (oceánica) por exceso de densidad debajo. Se le conoce también como ajuste isostático.
Contacto	Superficie donde dos tipos distintos de rocas se unen. Pueden ser de diverso tipo: normal - anormal, armónico - disarmónico y erosivo - intrusivo.

Continente	Forma de primer orden del relieve terrestre que emerge entre los océanos. El conjunto de continentes ocupa aproximadamente el 29 % de la superficie del Planeta.
Coordenadas	Par o triada de valores lineales o angulares que indican la posición (planar o angular) de un punto con relación a un sistema de referencia.
Cordillera	Conjunto de montañas orientadas aproximadamente de forma paralela en las que se asocian valles, cuencas, planicies, etc.
Corrección	Valor que es necesario sumar algebraicamente al resultado de una medición para obtener el valor verdadero o para eliminar el efecto de algún fenómeno que puede actuar sobre la magnitud medida.
Corrección de Bouguer	Corrección debida a la atracción de la lámina de Bouguer. Se determina por: $C = - 0,0418 p \times h$ (mGal), donde $p$ es la densidad media de la capa (g/cm <sup>3</sup> ) y $h$ la altitud en metros.
Corrección isostática	Corrección debida a las diferencias de densidad o de altitud respecto de alguna superficie de compensación dentro de la hipótesis isostática elegida. Se calcula por compartimientos en zonas centradas en el punto de observación, utilizando tablas construidas al efecto.
Corrección topográfica	Corrección por los accidentes topográficos que sobrepasan o profundizan en la lámina de Bouguer. Se calcula por compartimientos en zonas centradas en el punto de observación.
Corrección al aire libre	Corrección debida a la variación de la gravedad con la altitud. Se determina por: $C = 0,3086 \times h$ (mGal), donde $h$ es la altitud en metros de la estación sobre su superficie de referencia. Se le conoce también como corrección de Fay o Faye.
Corrimiento	Forma del relieve gravitacional, del tipo coluvial, sin destrucción de la masa desprendida. Lo opuesto al derrumbe.
Corte geológico	Conocido también como corte estructural. Es aquel esquema que muestra el aspecto que presentarían las rocas si aparecen en la pared vertical de una trinchera hecha en la superficie terrestre.
Corteza	Envoltura más externa de la Tierra, su espesor y densidad son diferentes en los océanos y los continentes. Se acostumbra a dividir en tres capas fundamentales, aunque no hay regularidad en su estructura. Está descrita por encima de la discontinuidad de Mohorovicic.
Corteza inferior	Parte inferior de la corteza terrestre, por debajo de la discontinuidad de Conrad.
Corteza superior	Parte superior de la corteza terrestre, por encima de la discontinuidad de Conrad.
<i>Coseismic</i>	Anglismo. Durante el terremoto.
Costa	Parte de un continente o de una isla que colinda con el mar, puede ser de emersión o inmersión. Esta parte incluye al litoral y la tierra firme (cantiles, terrazas marinas y planicies costeras). Ella se encuentra sometida permanentemente a la acción de procesos activos (olas o corrientes, movimientos tectónicos, oscilaciones del nivel del mar, erosión de los ríos, acción de organismos y el hombre, etc.).
Cota	Indicación de la altitud de un punto en una carta topográfica.
Cratón	Una estructura amplia, estable y antigua (cientos de millones de años) de la corteza terrestre, similar a un escudo, por su rigidez y por no poseer fracturación o deformación de los movimientos orogénicos.
<i>Creep</i>	Anglismo. Estado o episodio de deslizamiento lento a muy lento en una falla para producir un terremoto.
Crisis	Situación de inestabilidad provocada por la inminencia o la ocurrencia de un fenómeno potencialmente peligroso. Puede derivar en un desastre.
Cuaternario	Tercero y más moderno de los tres sistemas en que se divide el eretema Cenozoico. Comprende el período de los dos últimos millones de años. Se subdivide en Pleistoceno y Holoceno.
Cuenca	Depresión oval o circular, de fondo plano o cóncavo, y de gran anchura, con flancos de reducida pendiente y dimensiones muy diversas (1 - miles de km), que es o ha sido medio de la sedimentación.
Cuenca marginal	Depresión oceánica de profundidades comprendidas entre 2000 y 4000 m, situada tras los sistemas de arcos de islas. Sus formas varían de lineal a equidimensional. Pueden estar activas o no.
Cuerpo viscoelástico	El cuerpo donde las deformaciones elástica y plástica se desarrollan simultáneamente, comenzando a tensiones mínimas. Cuerpo de Maxwell.
Cuerpo viscoplástico	El cuerpo que posee límite de elasticidad. Cuerpo de Bingham.
Cuerpo viscoso	El cuerpo que tiene un bajo límite de elasticidad (próximo a 0) y en consecuencia se deforma irreversiblemente bajo tensiones mínimas. En él no existe, prácticamente, parte elástica. Líquido de Newton.
Choque	Encuentro entre cuerpos o partículas libres en el que se produce intercambio de alguna magnitud física, en especial energía, cantidad de movimiento, etc. También se dice colisión.
Daño	Pérdida por destrucción ocasionada por un fenómeno natural, artificial o accidental. Tiene diferentes medidas o dimensiones y consecuentemente diferente valor económico, social o ambiental.
Datación	Asignación de una edad o época, absoluta o relativa, a una formación o proceso geológico, roca, mineral o fósil.

Deformación	Todo cambio de forma o de volumen en los cuerpos, o de ambos a la vez. Puede ser elástica o plástica, continua o discontinua y también homogénea o heterogénea. El cambio de posición de las partículas de un cuerpo unas con respecto a otras.
Deformación elástica	Deformación producida en un cuerpo de modo que al cesar las fuerzas que la originan el cuerpo recupera su forma y volumen iniciales.
Deformación permanente	Deformación que se mantiene en un cuerpo al cesar las fuerzas que la originan.
Deformación plástica	Cambio permanente en la forma o tamaño de un cuerpo sólido, originado por la aplicación de tensiones superiores a su límite de elasticidad.
Deslizamiento gravitativo	Fenómeno tectónico según el cual un conjunto de materiales apoyados en una superficie inclinada resbala y alcanza posiciones alóctonas.
Diaclasa	Superficie plana o curva que divide a las rocas en bloques. En ella casi no hay desplazamiento, aunque siempre existen algunos pequeños que no se consideran. Pueden ser tectónicas o diagenéticas.
Diagénesis	Conjunto de procesos físicos y químicos que afectan a un depósito sedimentario y le transforman progresivamente en roca compacta.
Diagnóstico	Proceso de localizar y explicar los errores y regularidades de una base de datos. Una etapa de las investigaciones en la que se sintetizan y jerarquizan (al menos de manera preliminar) las variables, los elementos y procesos que forman parte de un sistema determinado.
Diagrama de Mohr	Diagrama que representa en un plano los esfuerzos aplicados en un punto de un cuerpo, mediante un sistema de coordenadas rectangulares. Estas coordenadas expresan en el eje de las ordenadas a la componente tangencial del esfuerzo (componente de cizalla) y en el de las abscisas a la componente normal. Tomando como plano del diagrama el que pasa por dos de los tres esfuerzos principales, se demuestra que el lugar geométrico del extremo del vector esfuerzo cuyo origen está en el origen de coordenadas y que se aplica sobre todos los planos perpendiculares a este diagrama (es decir que contiene a la tercera componente principal del esfuerzo) es un círculo (Círculo de Mohr). De la misma manera se prueba que el ángulo que forman el eje de las abscisas hacia el origen y el radio del círculo que pasa por el extremo del vector es el doble del ángulo $w$ que forman la superficie de aplicación y el esfuerzo máximo del plano. Al dibujar sobre un mismo diagrama los tres círculos correspondientes a los esfuerzos situados respectivamente en los planos 1-2, 2-3 y 1-3, resulta evidente que las representaciones de todos los otros esfuerzos están situados en el área comprendida entre estos dos círculos (de las que por razones de simetría solo se dibuja una mitad). El valor de cizalla es máximo (en valor absoluto) cuando $2w=90$ grados, es decir $w=45$ grados. Sin embargo, la ruptura de un material sometido a esfuerzos se produce, de hecho, según un ángulo $2w$ , que difiere 90 grados de un valor llamado ángulo de fricción interna. La curva que une los puntos en que se efectúa la ruptura en un diagrama de Mohr se denomina curva intrínseca del material.
Discontinuidad de Conrad	Superficie que separa la corteza continental en dos zonas (superior granítica e inferior basáltica). Está entre 15 - 30 km.
Discontinuidad de Gutenberg	Superficie en el interior de la Tierra, que separa el manto del núcleo. Se localiza a unos 2900 km de profundidad.
Discontinuidad de Mohorovicic	Límite de separación entre la corteza y el manto, su profundidad es variable.
Discontinuidad sísmica	Superficie o capa delgada de la Tierra a través de la cual la velocidad de las ondas P o S cambia rápidamente.
Dislocación	También se le conoce como perturbación tectónica. Las deformaciones cuyo resultado es la formación de estructuras secundarias. Puede ser coherente o disyuntiva. Incluye al cambio de forma de la roca y la formación de fracturas en ella.
Dispersión de ondas	La expansión de un tren de ondas debido a que cada longitud de onda viaja con su propia velocidad.
Distancia epicentral	Distancia (en km o grados) que existe entre el epicentro y la estación sísmica.
Distancia hipocentral	Distancia (en km o grados) que existe entre el foco o hipocentro y la estación sísmica que lo registra.
Dromocrónica	Curva de tiempo de recorrido. Gráfico del tiempo de recorrido y la distancia para la llegada de ondas sísmicas de eventos distantes. Cada tipo de onda tiene su propia curva.
Dorsal oceánica	Estrecho cinturón de montañas submarinas, localizadas aproximadamente a la mitad de la distancia entre los continentes.
Ductile	Anglismo. Se dice de la roca que es capaz de soportar hasta un 10 % de deformación antes de fracturarse.
Duración del terremoto	El tiempo en que las oscilaciones del suelo se mantienen por encima de un nivel de amplitud dado. Es un parámetro necesario para el diseño de edificios en zonas sísmicas.
Dureza	Resistencia que ofrece un material a sufrir una deformación permanente.
Energía	Capacidad de realizar trabajo.
Energía liberada	La energía generada o puesta en "libertad" en el foco de un terremoto por los procesos tectónicos.
Enjambre de terremotos	Los terremotos que se producen en grupos y donde no hay variación apreciable de la energía sísmica.

Eonotema	Unidad cronoestratigráfica de máxima jerarquía y que está compuesta por eratemas.
Epicentro	La proyección en la superficie terrestre del foco del terremoto.
Época	Subdivisión temporal de un período geológico.
Equilibrio	Estado de un sistema en el que éste no puede experimentar cambio espontáneo alguno.
Equilibrio isostático	Condición que se verifica en el interior de la Tierra de forma que por debajo de la superficie de compensación isostática la presión ejercida sobre un elemento de superficie es constante a lo largo de la misma.
Eratema	Unidad cronoestratigráfica subordinada al eonotema y está compuesta por sistemas.
Error	Desviación respecto a un valor teórico o real, originado en las medidas o en los cálculos realizados para su estimación.
Escala	Sucesión de elementos de la misma naturaleza ordenados racionalmente por el valor de alguna característica común.
Escala de Intensidades Sísmicas	Un arreglo de datos y valores que permiten caracterizar a los terremotos. Estos datos incluyen la perceptibilidad y los daños sobre las personas y el medio ocasionados por un sismo. Hay varias escalas: MSK, Europea, Mercalli, Japonesa, etc.
Escarpa	Forma del relieve de tipo escalón asociada en general a levantamientos y hundimientos de la corteza terrestre y a una estrecha relación con los tipos litológicos (escarpa petromórfica o litoestructural). Se clasifican en atención a los procesos y a la morfografía - morfometría.
Escarpa de línea de falla	Escarpa originada por la erosión sobre una escarpa de falla extinta. Puede ser obscurante o rescuente. Acantilado o escalón producido cuando una falla pone en contacto rocas duras y blandas, siendo las últimas más erosionables.
Escarpe de falla	La escarpa producida directamente por un movimiento cortical y perteneciente por tanto, al grupo de formas topográficas iniciales. Tiene forma relativamente recta y uniforme, aunque posea cañones excavados por las corrientes fluviales y en su base se encuentran abanicos y conos aluviales.
Esfera focal	Esfera de radio unidad, con centro en el foco del terremoto, y de material homogéneo. Desde su centro a la superficie las ondas se propagan de acuerdo con las ecuaciones que se han desarrollado para un medio de tales características.
Esfuerzo	La fuerza aplicada a una unidad de área. Se le conoce también como tensión.
Espectro	Sucesión ordenada de las longitudes de onda o frecuencias que intervienen en un fenómeno de naturaleza electromagnética.
Espejo de falla	Una superficie brillante en las rocas en las que existen un conjunto de líneas y rayas paralelas y finas producidas por el movimiento de los bloques de una falla.
Esquistosidad	Propiedad de algunas rocas de romperse a lo largo de superficies aproximadamente paralelas. Su origen siempre es tectónico. Se reconocen cinco tipos: axial, deslizamiento, flujo, fractura y pizarrosa.
Estación sísmica	Equipo geofísico (o conjunto de ellos) que permite detectar y registrar las ondas sísmicas.
Estilo tectónico	Conjunto de características geométricas de una estructura, y, por extensión de una región.
Estilo tectónico alpino	Estilo tectónico caracterizado por la presencia de mantos de corrimiento que dan lugar a series estratigráficas invertidas. Es característico de las regiones en que la cobertera sedimentaria ha soportado un importante esfuerzo tectónico unidireccional.
Estilo tectónico jurásico	Estilo tectónico caracterizado por la presencia de pliegues anticlinales y sinclinales de diversos tipos, que pueden estar asociados a fallas paralelas a la dirección del plegamiento. Es característico de zonas donde la cobertera sedimentaria ha estado sometida a esfuerzos tectónicos poco intensos.
Estilo tectónico sajónico	Estilo tectónico caracterizado por la presencia de sistemas de fallas escalonadas que limitan fosas tectónicas y macizos o pilares tectónicos, sobre los que se amolda la cobertera sedimentaria, cuando existe, originando pliegues monoclinales. Es característico de zonas con un basamento frágil, que ha soportado sucesivamente presiones tangenciales y tensiones.
Estría	Ranura alargada producida por la erosión.
Estructura	Forma interna de organización de un sistema, que constituye una unidad de conexiones estables entre sus elementos, así como de las leyes que rigen estas conexiones.
Estructura sísmicamente activa	La estructura geológica o la falla que ofrece un nivel de sismicidad que indica una actividad coherente y significativa, independientemente de que un movimiento geológico reciente en ella pueda manifestarse o no en la superficie terrestre.
Estructura tectónica	Particularidad estructural que se manifiesta en gran escala y que resulta de la deformación de la capa terrestre. Puede ser paleo o neotectónica.
Experimento	Investigación de cualesquiera fenómenos mediante la influencia activa sobre ellos a través de la creación de nuevas condiciones, correspondientes a las formas de investigación o del cambio del curso del proceso en la dirección necesaria. Se considera como una acción bien definida.

Exploración sísmica	El conjunto de métodos sísmicos destinado al reconocimiento de la estructura geológica del subsuelo que se basa en el estudio de la propagación de las ondas sísmicas o elásticas. Se le conoce también como Sismología Aplicada.
Fábrica	Organización espacial del conjunto de características estructurales de una roca sedimentaria.
Facies	Conjunto de caracteres, unos relativos a la roca y otros a los fósiles que contiene, que informan sobre los orígenes de un depósito o de un estrato geológico.
Faja	Masa o banda de rocas ígneas que ofrece una misma composición general que la masa principal.
Falla	Dislocación de rotura con desplazamiento. En ella ha ocurrido un movimiento entre los bloques, divididos por el plano de rotura o falla. Hay tres tipos principales: normal, inversa y desgarre. Las fallas se caracterizan por: 1- Ser estructuras tridimensionales 2- No constituir estructuras aisladas y responden a una organización de diferente escala y magnitud. Las fallas se definen (en el espacio) a partir de un conjunto de parámetros o elementos.
Falla "ciega"	Una falla que no se extiende (ni antes ni ahora) hacia la superficie. Se le conoce también como falla oculta. La falla que es responsable de la sismicidad a la que no es posible asignarle alguna estructura visible en superficie.
Falla abierta	Falla que tiene los labios abiertos.
Falla activa	Este término desde el punto de vista geológico se emplea para designar a la falla que se reconoce en el campo y que está enmarcada en el proceso tectónico contemporáneo (hasta 2 millones de años). Desde el punto de vista sismotectónico hay dos posibilidades diferentes para clasificarle: 1- la que no tiene actividad sísmica asociada 2- por la existencia de actividad sísmica que en el tiempo permite inferir que existe una falla (oculta) que los mapas geológicos no representan.
Falla antitética	Falla en la que el par de fuerzas que representan su movimiento relativo tiene el sentido contrario a las agujas del reloj.
Falla capaz	Una falla a lo largo de la cual es posible el deslizamiento repentino.
Falla cerrada	Falla sin espacio abierto entre sus labios.
Falla de desgarre	Falla de tipo vertical en que los bloques son desplazados únicamente en sentido horizontal. Puede ser dextral o sinistral. Se considera una falla basculante.
Falla de despegüe	Falla en la que el plano, entre las capas de rocas, está casi orientado en la horizontal. Falla de cabalgamiento.
Falla de tijeras	Falla en la cual un bloque ha girado en un punto sobre su plano de falla.
Falla de transformación	Falla profunda y activa que relaciona o articula a las placas litosféricas con un centro de generación de corteza oceánica y que permite el cambio de movimiento. Es una estructura transversal al eje de las dorsales oceánicas, en las que no hay surgimiento o destrucción de corteza, solo deslizamiento.
Falla inactiva	Una falla que no ha tenido desplazamiento en un tiempo pasado relativamente grande y que se supone no lo tendrá en el futuro.
Falla inversa	Falla en la que el labio elevado está desplazado hacia arriba con relación al labio hundido. El desplazamiento es en sentido opuesto al buzamiento.
Falla latente	Falla que presenta un potencial importante de desplazamiento relativo en la superficie o cerca de ella.
Falla listrica	Falla de superficie muy tendida, cóncava hacia arriba o, por lo menos, con grandes concavidades en este sentido. La superficie de falla se eleva en el sentido de la traslación del labio superior, y en ocasiones hacia los lados.
Falla normal	Falla en la que el labio elevado está desplazado hacia abajo con relación al labio hundido a través de un plano con 45 - 90 grados de inclinación. El deslizamiento se produce en el mismo sentido del buzamiento. Se le conoce como falla de gravedad.
Falla potencialmente activa	Término utilizado para referirse a una falla que ha tenido desplazamiento en el período Cuaternario.
Falla sintética	Falla en la que el par de fuerzas que representa su movimiento relativo tiene el mismo sentido que las agujas del reloj.
Fallamiento	Aparición de grietas y fracturas con desplazamiento diferencial del terreno ocasionado por el movimiento de una falla.
Fallas escalonadas	Asociación de fallas, relativamente próximas, subparalelas y en las que el salto total se distribuye dentro del conjunto en una serie de escalones.
Fase	Cualquier parte homogénea y físicamente diferenciada de un sistema, separada de las restantes por superficies definidas.

Fase tectónica	Conjunto de manifestaciones tectónicas de cierta importancia que afecta a vastas regiones en el curso de un breve lapso de tiempo, y que separa dos largos períodos durante los cuales, por el contrario, las deformaciones estructurales están ausentes o poco marcadas.
Fenómeno	Concepto que significa lo que se da en la experiencia, lo que se percibe con los sentidos.
Filtro	Dispositivo que atenúa o elimina ciertas frecuencias de una onda, mientras deja a las ondas prácticamente inalteradas.
Filtro paso - alta	Filtro que elimina o atenúa las componentes de una onda inferiores a una cierta frecuencia (de corte), dejando a las demás prácticamente inalteradas.
Filtro paso - baja	Filtro que elimina o atenúa las componentes de una onda superiores a una cierta frecuencia (de corte), dejando a las demás prácticamente inalteradas.
Filtro paso - banda	Filtro que elimina o atenúa las componentes de una onda de todas las frecuencias, excepto las comprendidas en una cierta zona o banda.
Fisura	Grieta o rotura de diferente longitud en una roca.
Flexión	Cualquier estructura geológica arqueada.
Flexura	Flexión, escalonada más abrupta de las capas, que enlaza a otros dos tramos rocosos de yacencia horizontal o suave pendiente localizados en niveles diferentes. Puede ser concordante (sintética) u opuesta.
Flysh	Una serie amplia y potente de capas de rocas sedimentarias, consistente en una repetición rítmica (conglomerados - areniscas, en la base, y limos - margas, en la parte superior). Típica formación de los geosinclinales por la erosión de las montañas.
Foliación	Orientación paralela de los minerales de una roca.
Formación	Término que se utiliza para designar conjuntos rocosos que tienen una misma génesis y que han mantenido una misma evolución en el tiempo.
Formas del relieve	Los elementos de la superficie terrestre que se definen en atención a: 1- la constitución; 2- las características geométricas. Pueden ser clasificados por: 1- origen (endo o exógeno); 2- dimensiones (de planetaria a micro); 3- situación (positiva o negativa).
Fosa	Depresión alargada de fondo plano y flancos abruptos, que a menudo corresponde a zonas falladas, de dimensiones diversas (pero que cumple la relación de largo/ancho = 1/3). En general, se utiliza tal denominación para estructuras localizadas en los continentes. Puede estar o no rellena de sedimentos.
Fractura	Dislocación disyuntiva sin desplazamiento. Se le denomina en ocasiones como grieta. Pueden clasificarse como: dúctil y frágil, cortadura y separación, etc.
Frecuencia	Número de veces que se presenta un fenómeno o suceso en un intervalo temporal.
Fuente sísmica	Área o línea con características propias de sismicidad, que puede manifestarse como actividad registrable en la actualidad o como evidencias, aunque las mismas pueden o no presentar sismos recientes.
Fuente sismogénica	La zona que posee una uniforme potencialidad para producir terremotos (con una misma magnitud y repetibilidad) y que se distingue de las zonas vecinas, aunque no causa deformaciones superficiales y está regida por el régimen tectónico actual.
Fuente tectónica capaz	La estructura tectónica que puede producir vibraciones del suelo y deformaciones superficiales cualesquiera en el régimen tectónico actual.
Fuerza	Causa capaz de producir una aceleración o deformación de un cuerpo.
Gap sísmico	Palabra de origen inglés sin equivalente en español. Se utiliza para designar un estado en las zonas sísmicas activas de "tranquilidad". Puede ser de dos tipos, espacial y temporal.
Geodinámica	Ciencia que se encarga del estudio de las condiciones del surgimiento y desarrollo de las grandes estructuras de la Tierra, así como de las leyes que las rigen.
Geofísica	Ciencia que incluye varias ramas o campos, los cuales tienen que ver con el origen y la evolución de la Tierra, desde el punto de vista físico.
Geoide	La superficie equipotencial que coincide con el nivel medio del mar en los océanos, extendida de manera imaginaria tierra adentro, hasta formar una figura continua en el planeta.
Geomorfología	Ciencia que estudia el origen y las leyes del desarrollo de las formas del relieve de la Tierra, como resultado de los procesos geológicos ocurridos en el interior de la corteza terrestre (endógeno) y en su superficie (exógenos). Estudia también la esfera de interacción de las envolturas sólida, líquida y gaseosa de la Tierra. Aporta conocimientos acerca de la estructura de los grandes elementos de su morfoestructura. Estructura científicamente los conocimientos científicos sobre la dinámica contemporánea y futura.
Geotectónica	Ciencia sobre la estructura, los movimientos, las deformaciones y el desarrollo de las capas sólidas superiores de la Tierra, o sea de la corteza terrestre y del manto superior (Astenofera) en relación con el desarrollo de toda la Tierra.
GPS	Global Positioning System. Un sistema de observación geodésica en el cual varios satélites son empleados para establecer la localización espacial de puntos determinados en la superficie terrestre.
Grado	Grada, peldaño o escalón. Cada una de las posiciones intermedias que conducen de un estado a otro.
Grado base	Intensidad o magnitud máxima estimada que puede sufrir una región para un período de 100 años.

Gravimetría	La especialidad de la Geofísica que se encarga de la medición de la fuerza de la gravedad.
Gravímetro	Equipo geofísico que permite medir la fuerza de la gravedad. Existen diversos tipos.
Grieta	Una oquedad en la superficie terrestre con un conducto horizontal penetrable por el hombre. Ella se desarrolla especialmente en condiciones cársicas, aunque también puede localizarse en sal, yeso y hasta en basaltos.
<i>Hade</i>	Anglismo. El ángulo entre la pendiente máxima del plano de falla y la vertical, y es el ángulo complementario del buzamiento.
Hipocentro	Punto en el interior de la Tierra desde donde se generan las ondas sísmicas. Se le conoce también como foco.
Inclinación	Término general aplicado al ángulo vertical entre la horizontal y un plano o línea, medido hacia abajo.
Inmersión	Se le conce también como Plunge. Ángulo vertical entre una línea y la horizontal.
Intensidad	Medida cuantitativa o cualitativa de la cualidad de un fenómeno en un sitio específico. En Sismología, medida basada en datos, en gran parte subjetivos, de las observaciones de los efectos directos de un terremoto en un punto de la superficie terrestre y que van de un punto a otro para un mismo terremoto.
Interfluvio	Superficie irregular y de mínimo nivel hipsométrico que se dispone entre dos laderas de valles contiguos. Se le utiliza en regiones de planicies.
Isolínea	Línea curva que une puntos de igual valor o se interpolan proporcionalmente entre ellos. Toman diferentes formas o configuraciones de acuerdo al fenómeno que representan. Ej. Isosista.- Línea de igual intensidad sísmica que rodea al epicentro.
Isostasia	Estado equilibrado de la corteza terrestre, más bien de la litosfera con relación a la astenosfera. Ese estado se alcanza a un nivel denominado profundidad de compensación. Es la condición de equilibrio aproximado de la parte exterior de la Tierra, de modo que los efectos gravitacionales de las masas empujadas hacia arriba de la superficie del Geoide, las áreas continentales, son más o menos contrarrestados por una deficiencia de densidad de material debajo de tales masas, en cuanto a los efectos de deficiencia de densidad de las aguas de los océanos son contra balanceados por un exceso de densidad de material sobre los océanos.
Junta	La unión de dos capas o estratos geológicos. Fracturas a lo largo de las cuales, prácticamente, no ha habido desplazamiento rocoso.
Labio de falla	Los dos lados de una falla con respecto a su plano. Así se distinguen el labio elevado y el hundido. Labio Elevado: El labio de la falla que se localiza por encima de su plano. Se le conoce también como bloque colgante. Labio Hundido: El labio de falla que está por debajo de su plano. Reconocido como bloque yacente.
Labio elevado	El labio de falla que está por encima de su plano. Bloque colgante.
Labio hundido	El labio de falla que está por debajo de su plano. Bloque yacente.
Lámina de Bouguer	Capa plana, imaginaria, de longitud infinita y espesor igual a la altitud del punto estación en la Tierra, sobre la superficie de referencia.
Levantamiento en arco	La flexión de gran radio de curvatura que abarca un extenso sector de la superficie de la Tierra. Se caracteriza por la presencia de fallas profundas.
Ley de atenuación	Descripción del comportamiento de una característica o parámetro del movimiento del suelo producido por un sismo en función de la distancia a la fuente.
Límite de placas	La zona tectónica donde contactan las placas litosféricas. Allí se localizan diferentes procesos tectónicos. Existen límites convergentes, divergentes, de transformación y mixtos.
Línea	Raya o traza continua (visible o imaginaria) que separa dos cosas o limita el contorno de un objeto. Elemento geométrico generado por un punto móvil y que tiene dimensión a lo largo de la trayectoria del punto. Puede ser rectilínea o curva.
Línea de debilidad tectónica	La línea que representa una posible fractura del cuerpo. Puede ser una falla.
Lineación	Líneas o arreglos de líneas sobre una superficie rocosa. También puede ser una estructura geológica de gran extensión.
Liquefacción	Fenómeno que se produce por los terremotos, cuando algunas capas del suelo formadas por materiales de pequeña granulometría debido a oscilaciones de alta frecuencia y en consideración con el agua que ocupa los espacios entre los granos pierden tensión y sustentación, y se comportan como un fluido produciendo efectos de asentamiento brusco.
Litoral	La zona transicional entre el mar y la tierra firme, cuyos límites oscilan entre el máximo y el mínimo de altura de las mareas, por lo que puede llegar hasta 1 km.
Litosfera	Concepto geofísico que define a las masas de rocas yacentes por encima de la Astenosfera. Esto significa que no es solo la corteza terrestre sino también la parte superior del Manto (hasta la isoterma de 1000° C y por encima de la zona de baja velocidad en el Manto).
Longitud de falla	La longitud total de una falla o zona de falla. La longitud de ruptura de una falla o zona de falla a lo largo de la cual hay terremotos asociados, observada la superficie de ruptura.

Macizo	Alturas (o montañas) que constituyen un conjunto importante, pero que no se encuentran alineadas a lo largo de un eje.
Magnitud	Parámetro que caracteriza a los sismos en dependencia de la energía liberada en el foco. Responde a una escala logarítmica. Existen varias escalas. Se obtiene o mide únicamente por instrumento.
Magnitud del momento	La magnitud de un terremoto estimada a partir del momento sísmico.
Manto	La segunda esfera de la Tierra. Posee unos 2860 km de espesor y está conformado por rocas parecidas al olivino y a la peridotita (rocas pesadas formadas por silicatos y óxidos de magnesio y hierro). Su densidad aumenta con la profundidad desde 3.3 a 5.5 g/cm <sup>3</sup> desde la parte superior a la más profunda. Se acostumbra a dividir en: manto superior e inferior.
Mapa	Representación reducida, generalizada y matemáticamente determinada de la superficie terrestre en un plano en el que se interpretan la distribución, el estado y las relaciones entre los distintos elementos y fenómenos naturales y sociales relacionados y generalizados de acuerdo con la asignación del material.
Mapa geológico	Denominado también mapa geólogo - estratigráfico. Refleja la constitución geológica de una región sobre la base de la división de las rocas que la forman, según su composición y edad en una base topográfica. Pueden ser de varios tipos.
Mapa sismotectónico	Mapa sísmológico en el que se esquematizan las grandes unidades sismotectónicas en función de la sismicidad definida por las investigaciones. Debe permitir la delimitación de las zonas sísmicas para los estimados de peligrosidad sísmica.
Margen	Orilla o borde de una cosa o región. Puede ser externo o interno con relación a la polaridad considerada.
Margen continental	Un margen de placa. Puede ser de dos tipos: activo o pasivo. Margen Activo: Aquel margen continental en que surge una zona de subducción al colisionar un bloque continental con una placa oceánica, y en consecuencia hay actividad sísmica y volcánica. Margen Pasivo: El margen continental en que el continente está unido a una parte oceánica y conforman una placa. En él están prácticamente ausentes la sismicidad y el vulcanismo.
Medidas parasísmicas	Conjunto integrado de medidas y regulaciones científicamente argumentadas que permiten minimizar los efectos de un terremoto. Hay medidas antes, durante y después de la ocurrencia de un sismo.
Metamorfismo	Modificación que experimentan los caracteres físicos y químicos de una roca en el seno de la corteza terrestre debido a la presión, la temperatura y otros agentes internos.
Mezclas tectónicas	Conocidas también como "melange". La mezcla de fragmentos tanto de rocas que participan en la constitución del manto como de las que yacen en el autóctono.
Microrregionalización sísmica	Tarea científica que se desarrolla sobre la base de la regionalización sísmica de un territorio. Permite precisar la magnitud de las acciones sísmicas sobre el suelo y las edificaciones. Se le conoce también como microzonación sísmica.
Microsismo	Ruidos coherentes que enturbian la información útil de los registros sísmicos y que tienen un espectro de frecuencia muy amplio.
Microsismos	Ruidos coherentes que enturbian la información útil de los registros sísmicos y tienen un espectro de frecuencia muy amplio.
Modelo	Una representación física, matemática o físico - matemática que reproduce las características y las condiciones de un sistema, que permite analizar la información y las interacciones existentes y también de predicción. Puede ser dinámico o estático y de diferente escala.
Momento sísmico	Tensor que relaciona el cambio de los esfuerzos en la región focal antes y después de producirse el terremoto.
Morfoescultura	Las formas del relieve de tercer orden y menor de origen exógeno principalmente. Pueden ser clasificadas de acuerdo al tipo de proceso predominante: fluvial, eólico, glaciar, etc.
Morfoestructura	Las formas del relieve de diferente rango (llanuras, alturas y montañas). Pueden estar formadas por movimientos tectónicos recientes, contemporáneos y antiguos. Sufren alteraciones de diferente grado por medio de los procesos exogenéticos. Se diferencian varios tipos de morfoestructura (generalmente por pares): activa o tectomorfoestructura y pasiva o litomorfoestructura, heredada y heredada, directa e inversa, lineal e isométrica, concordante y discordante, oculta y semioculta, etc.
Movimiento fuerte del suelo	Temblor del suelo cerca de la fuente del terremoto que está formado por ondas sísmicas de diferentes tipos y de gran amplitud.
Movimientos neotectónicos	Conocidos también como movimientos novísimos. Movimientos de la corteza terrestre ocurridos en el Neógeno y el Cuaternario, causantes del modelado esencial del relieve de la superficie terrestre y que conservan sus tendencias principales en la época actual.
Movimientos oscilatorios corticales	Los movimientos de origen tectónico lentos y con diversa tendencia en tiempo y espacio, que son causantes de los distintos levantamientos y hundimientos de la corteza terrestre, y lógicamente con reflejo en el relieve.
Movimientos tectónicos recientes	Se les denomina también como movimientos contemporáneos. Son los movimientos de la corteza terrestre que se hicieron manifiestos en el tiempo histórico y se hallan en actividad en el presente, susceptible a las observaciones inmediatas e incluso a las instrumentales.
Muestra	El subconjunto de la población sobre cuya base se harán las inferencias para toda la población.
Neotectónica	Parte de la geotectónica que estudia el relieve de la superficie terrestre, sus estructuras y los movimientos que afectan la corteza terrestre desde Eoceno Superior al Reciente.

Nudo	Lugar donde se unen o cruzan dos o más sistemas simples o complejos de elementos (montañas, fallas o alineaciones).
Onda sísmica	Una onda elástica en interior de la Tierra generalmente producida por un terremoto o explosión.
Orientación	Término que describe la disposición de un plano o línea estructural en el espacio, por lo general relacionado con coordenadas geográficas y con la horizontal.
Orogenia	Proceso geológico de larga duración (millones de años) en que se originan las montañas y en general los grandes plegamientos.
Orógeno	Sistema montañoso edificado sobre una porción inestable de la corteza terrestre que ha sufrido un importante acortamiento y presenta pliegues y mantos de corrimiento.
Paleosismología	Rama de la Sismología que estudia los terremotos más antiguos.
Parteaguas	Morfoelemento fluvial de tipo lineal que representa las cotas máximas en una cuenca fluvial o en un conjunto de ellas. A partir de él se clasifica el drenaje fluvial. Se le conoce también como Divisoria de las aguas.
Peligro	Denominación del fenómeno que representa una amenaza potencial a las personas o propiedades en un área dada y para un período determinado.
Peligrosidad sísmica	Conocida también como regionalización sísmica. Es uno de los problemas fundamentales que estudia la Sismología. Tarea muy compleja y multidisciplinaria para la identificación de las zonas capaces de producir terremotos, con sus parámetros, fundamentales, la obtención de las curvas de atenuación (de la intensidad, la aceleración, etc.) regionales y la selección del criterio para la confección de mapas y gráficos finales.
Península	Porción de tierra rodeada de agua por todas partes menos por una relativamente estrecha, denominada istmo, por la cual está enlazada con otra mayor zona de tierra de mayor área.
Piso	Labio inferior, horizontal o inclinado, de un cuerpo rocoso o de una falla.
Placa litosférica	Región móvil, de grandes dimensiones y figura irregular, de la litosfera. En el planeta Tierra ellas constituyen un sistema, el cual se ajusta a un complicado cuadro con diferentes tipos de contacto en sus bordes. Este conjunto está constituido por corteza continental u oceánica, o por ambas sobre una parte del manto.
Plano de falla	Superficie a lo largo de la cual ocurrió el movimiento de los bloques.
Plastosfera	La segunda capa (yace inmediatamente bajo la Esquizosfera) de la litosfera. En ella el material es lo suficientemente dúctil para deformarse sin romperse en fenómenos de flujo plásticos. Los esfuerzos son relajados asísmicamente.
Plataforma	Superficie de rocas del basamento, antiguas, estables y cubiertas por rocas más jóvenes. Se definen dos tipos: continental y marginal. Plataforma continental (P.C.) aparece a las orillas o bordes de los continentes donde se ponen en contacto las áreas oceánicas y las continentales hasta aproximadamente 200 m de profundidad. Plataforma marginal se define a continuación de la P.C. (> 200 m y < 2000 m) en forma más o menos plana del fondo marino.
Plegamiento	Fase durante la cual las capas sedimentarias de la corteza terrestre, sometidas a empujes laterales, se ondulan y forman pliegues.
Pliegue	Deformación de la corteza terrestre que se manifiesta por el arrugamiento y la ondulación de las rocas estratificadas o bandeadas. Se caracteriza por el gancho (lugar de dobladura de las capas), las dos alas (de buzamiento uniforme, generalmente) y el núcleo (parte interior). Hay varios tipos de pliegues, pero todos ellos se agrupan en dos tipos generales: anticlinales y sinclinales.
Premonitores	Estremecimientos sísmicos que anteceden al terremoto principal. Son por lo general de menor intensidad que el sismo principal.
Proceso	Cambio lógico y consecuente del fenómeno, su transformación en otro fenómeno.
Pronóstico	Determinación de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con base en: el estudio de su mecanismo generador, el monitoreo del sistema perturbador y el registro de eventos en el tiempo. Un pronóstico puede ser a corto plazo, generalmente basado en la búsqueda e interpretación de señales o eventos premonitores; a mediano plazo, basado en la información probabilística de parámetros indicadores; y a largo plazo, basado en la determinación del evento máximo probable en un período que puede relacionarse con la planificación del área potencialmente afectable. Sintetización de los datos teóricos y experimentales y en la consideración de las regularidades objetivas del desarrollo de los fenómenos de la naturaleza y la sociedad, que no se observan o no se han establecido.
Provincia sismotectónica	Una región dentro de la cual la actividad de los procesos geológicos y sísmicos son relativamente uniformes.
Pull-Apart basin	Anglismo. Cuenca de distensión. Depresión topográfica producida por un sistema de fallas de tipo rumbo deslizante.
Punto gravimétrico	Punto en el cual se han realizado mediciones de aceleración de la fuerza de la gravedad.
Punto geodésico	Punto en el cual se han realizado mediciones del relieve de la superficie terrestre. Se clasifican de acuerdo a la precisión de las mediciones.
Rango dinámico	Razón expresada en dB entre la señal máxima y la mínima que puede medir un instrumento.

Rayo sísmico	Línea perpendicular a los frentes de onda o isocronas que indica la dirección de propagación de la energía sísmica.
Red sísmica	Arreglo de estaciones que permite registrar las ondas de los terremotos a distintas escalas. Pueden ser de distintos tipos de acuerdo a los objetivos de trabajo.
Régimen	Conjunto de condiciones regulares que provocan o acompañan a un fenómeno o una sucesión de fenómenos.
Régimen sísmico	El conjunto de terremotos, de cierta región, organizados en espacio, tiempo y energía.
Régimen tectónico	El tipo predominante, para una región dada, del conjunto de movimientos tectónicos y deformaciones que en ella acontecen.
Registro sismológico	Documento histórico o instrumental de un terremoto.
Relieve	El objeto de estudio de la ciencia geomorfológica. Éste no es una combinación abstracta de superficies geométricas, sino formas, en parte basadas en la estructura y en parte sometidas a la acción permanente de la atmósfera, hidrosfera y biosfera.
Remezón	Sinónimo de sismo ("benigno"). Es un sismo menor que sigue a un sismo mayor.
Repetibilidad	Esclavismo. Se utiliza para reflejar la frecuencia de ocurrencia de los terremotos con una magnitud o intensidad dada.
Réplica	Sacudida de energía decreciente, cada vez más espaciada en el tiempo, que ocurren con posterioridad a un terremoto.
Resolución	El menor cambio en la señal física de entrada que puede ser detectado por el instrumento.
Riesgo	La probabilidad de exceder un valor específico con consecuencias económicas y sociales desfavorables en un lugar y tiempo dados. Puede tener tres orígenes: natural (incluye los riesgos geológicos, hidrológico y atmosférico), tecnológico (o antropogénico), y combinado (ambos). Esta probabilidad se obtiene de relacionar la amenaza de ocurrencia de un fenómeno fr ina intensidad específica con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Es el producto de la probabilidad de ocurrencia de un peligro por el valor del daño, se mide en unidades monetarias. Se le conoce también como amenaza.
Rift	Una estructura tectónica disyuntiva y profunda, lineal de cientos y miles de metros de longitud, en la corteza terrestre. Su origen es debido a la separación de bloques en dirección transversal a la orientación de su eje. Concretamente es una fisura o falla activa. De acuerdo a su localización puede ser oceánico o continental.
Rígidez	Resistencia a la deformación elástica.
Roca	Elemento natural resultado de la combinación de minerales y cómo éstos forman la corteza terrestre.
Ruido instrumental	Al igual que la potencia de la señal se expresa como una función de la densidad del espectro de potencia y significa que el instrumento produce una señal que es equivalente a una unidad de señal física a la entrada, en ausencia de dicha señal.
Rumbo	Ángulo horizontal entre una línea y una dirección de coordenadas específica, por lo general el Norte real o el Sur real.
Salto de falla	Movimiento relativo en la falla, medido de un bloque a otro, como el desplazamiento de puntos anteriormente adyacentes.
Segmento sísmico	La parte de una falla o zona de falla que se ha roto durante un terremoto.
Seiche	Oscilaciones (de tipo estacionario las ondas) del agua en una bahía o lago.
Sensor	Equipo o conjunto de equipos organizados para captar y medir con determinada especialización la intensidad u otras características de un fenómeno o proceso.
Serie	Conjunto de cosas o fenómenos que guardan relación unos con otros y que se ordenan y suceden con arreglo a una ley dada.
Sismicidad	La ocurrencia de terremotos en una región o zona. El conjunto de todos los parámetros que definen a completitud el fenómeno del terremoto en la región focal; es decir, la descripción completa del fenómeno sísmico en su origen.
Sismicidad inducida	Los terremotos originados a consecuencia de otros eventos sísmicos naturales o artificiales, y por la actividad antrópica.
Sismo	Todo temblor de la superficie terrestre, originado por causas naturales. Se le llama también terremoto y se deriva de la palabra griega "seismos".
Sismo histórico	Aquel terremoto anterior al registro instrumental.
Sismodislocación	Una huella de origen sísmico en el relieve.
Sismógrafo	Equipo utilizado para registrar las señales sísmicas que llegan a la estación. Existen diversos tipos.
Sismograma	El registro obtenido por los sismógrafos. Este registro puede ser en papel, papel fotográfico, soporte magnético, etc.
Sismología	La ciencia que estudia los terremotos.

Sismómetro	El instrumento que permite detectar el movimiento del suelo. Hay varios tipos en atención a: la (s) componente (s) que detecten y tipo de movimiento.
Sismotectónica	Ciencia fronteriza de la Sismología y la Geotectónica. Ella estudia las condiciones tectónicas del surgimiento de los terremotos.
Sistema	Conjunto de elementos (o sistemas menos complejos) que tienen relaciones y conexiones entre sí y que forman una determinada unidad (integrada). El sistema debe ser valorado en atención a la estructura, la historia y la función.
<i>Slumping</i>	Anglismo. Fenómeno subaéreo de deslizamiento en masa de sedimentos embebidos en agua (deslizamiento sin sedimentario), que da lugar a pliegues o brechas intraformacionales. Se relaciona generalmente con sismos.
Subducción	Hundimiento de gran amplitud de una porción de la litosfera bajo otra. Esta idea fue introducida como propuesta a la existencia de estructuras alpinas (Zona de San Bernardo), donde unidades orientales introducidas bajo otras más occidentales permiten explicar el vasto retrocabalgamiento. El término en la actualidad designa el hecho de hundirse la litosfera oceánica bajo otra litosfera, generalmente continental, con la consiguiente formación de una "Zona de Benioff", de una fosa oceánica y de un vulcanismo activo y rico en andesitas.
Subsistencia	Hundimiento progresivo, regular o a sacudidas durante un período bastante largo, del fondo de una cuenca sedimentaria, marina o no. Este fenómeno permite la acumulación de grandes espesores de sedimentos, que, sin embargo, se han formado bajo una escasa profundidad de agua.
Superficie de erosión	Término muy general que se utiliza para designar una superficie relativamente plana, bastante amplia, que resulta del arrasamiento de los relieves por la erosión y que puede cortar en bisel a las estructuras de las rocas subyacentes, cualquiera que sea su dureza. Resulta ser el testigo de los procesos de sedimentación.
Sutura	Concretamente es una cicatriz. Región heterogénea de rocas muy deformadas de cientos de kilómetros de largo donde dos placas litosféricas se han soldado.
<i>Talweg</i>	Línea de fondo de un valle, seguida por el curso de agua cuando existe alguno.
Tectónica	Rama de la Geología que estudia la estructura y el carácter de los sedimentos del sector de la corteza terrestre que se investiga. El conjunto de deformaciones que han afectado los terrenos geológicos con posterioridad a su formación.
Tectónica activa	Movimientos tectónicos que se supone ocurran o que han ocurrido y afectan a la sociedad.
Tectónica de placas	Teoría de los finales de la década de los años 60 del siglo XX, donde se plantea la división de la corteza terrestre en un número dado de placas rígidas, siendo las más significativas o importantes: Norteamérica, Sudamérica, África, Eurasia, Pacífico, Antártida, Indo - Australiana, Cocos, Nazca, Caribe, Arabia y Filipina; las cuales se desplazan con movimientos horizontales con respecto a un eje que pasa por el centro de la Tierra. El desplazamiento de estas placas se puede extender hasta los 100 km de profundidad, denominándole a este sector litósfera.
Tectonosfera	Zona principal donde se manifiestan los procesos tectónicos y magmáticos, que se caracteriza por la heterogeneidad de la materia. Se compone de la litosfera y la astenosfera.
Techo	Labio superior, horizontal o inclinado, de un cuerpo rocoso o de una falla.
Terraza	La superficie plana o de suave inclinación, estrecha y alargada que se delimita en el relieve por cambios bruscos de pendiente. Su origen es por la acción areal del agua. Los elementos para clasificar una terraza son: área, configuración, altura, pendiente, bordes delantero y trasero, escarpes, tipo de sedimentos y espesor, etc. Se reconocen los siguientes tipos de terrazas: aluvial, estructural, fluvial y marina. Pueden estar cubiertas o no.
Terremoto característico	Aquel terremoto de cierta magnitud máxima que se produce regularmente en una misma falla o zona de fallas.
Terremoto de borde de placa	Denominado también terremoto interplaca. Un terremoto en cualquier lugar de un borde de placa litosférica.
Terremoto de interior de placa	Denominado también terremoto intraplaca. Un terremoto en cualquier lugar del interior de una placa litosférica.
Terremoto de proyecto	El terremoto que, razonablemente, puede ocurrir durante la vida planificada de la obra objeto de estudio, y que es capaz de producir un movimiento máximo del suelo.
Terremoto máximo de cálculo	El terremoto de la magnitud mayor que puede ocurrir, pero de muy baja probabilidad.
Terremoto potencial	Parámetro que caracteriza a la fuente sísmica como el terremoto máximo que ella puede producir en el marco tectónico actual.
Tiempo de llegada	Tiempo inscripto del primer movimiento del suelo en el sismograma. No es el tiempo de origen del sismo.
Tiempo de origen	Tiempo en que se produce el sismo. Se determina a partir del registro sísmico.
Triple unión	El área donde se interceptan tres límites de placas litosféricas.
<i>Tsunami</i>	Conocido también como maremoto. Son las grandes olas o sistemas de olas que generan los movimientos del fondo marino por los terremotos. Existe una escala para su clasificación.
Uniformismo	Teoría que supone que los procesos geológicos en tiempos pasados se han desarrollado con características semejantes a las de la actualidad, pero con intensidades y combinaciones probablemente diferentes.

Ventana tectónica	La zona donde la erosión ha penetrado a un cabalgamiento, en un pliegue colgante, permitiendo apreciar las rocas que yacen debajo.
Zona	Superficie larga y estrecha donde se produce un fenómeno. Se le conoce también como banda.
Zona de Benioff	Zona estrecha definida por los focos de los terremotos, de un espesor de decenas de kilómetros, que desciende, con ángulos diferentes, desde la superficie bajo la corteza.
Zona de colisión	La zona donde dos placas litosféricas convergen, chocan e interaccionan. Puede ser de dos tipos: colisión y deslizamiento lateral.
Zona de divergencia de placas	La zona donde se separan dos placas litosféricas (una respecto a la otra) y se genera material litosférico oceánico.
Zona de falla	Región de grandes dimensiones en que ocurrió el movimiento de los bloques rocosos.
Zona de sombra sísmica	La zona o región del interior de la Tierra (situada entre 103 y 143 grados) donde las ondas P y S no se perciben por las estaciones sísmicas.
Zona de subducción	La zona donde convergen o colisionan dos placas litosféricas, pero en el que uno de los dos se sumerge y consume corteza oceánica. Se acompaña de sismicidad y/o vulcanismo.
Zona límite de placas litosféricas	Una región heterogénea entre, al menos, dos placas litosféricas que presenta actividad neotectónica, y en la que pueden ocurrir terremotos y existir centros volcánicos.

## **UN RECORRIDO POR LA SISMOLOGIA DE CUBA**

Mario Octavio COTILLA RODRIGUEZ  
Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I  
Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid  
Ciudad Universitaria, s/n. 28400 Madrid  
e-mail: [macot@fis.ucm.es](mailto:macot@fis.ucm.es)  
telef. 34-1-913945007  
fax: 34-1-913944398

*...”Cuanto a la Isla de Cuba el peligro es mucho menor que en todas las demás Antillas aun tomada en su conjunto. En repetidas ocasiones y en diferentes puntos de la Isla se han suscitado visiones fatídicas, que amenazaban ruina espantosa a regiones enteras teniendo por largo tiempo en consternación a sus habitantes. Emanaciones gaseosas y fétidas subterráneas, emisiones sulfúreas, humaredas y llamaradas brotando del subsuelo por hendiduras abiertas en la superficie se propalaron con insistencia en la zona de Trinidad el año 1838 y en Pinar del Río en 1880, las cuales revestidas por la fantasía con lugubres colores y llevadas de boca en boca creciendo siempre como la bola de nieve, dieron por bulo a los más siniestros presagios, que impresos vivamente en las imaginaciones populares sembraban pánico indescriptible en la población entera. Muchas personas no soñaban más que en volcanes, simas, hundimientos y cataclismos, temiendo verse de un momento a otro envueltas en llamas o tragadas por la tierra o sorbidas por el mar. En el caso de Trinidad los rumores alarmantes llegaron a adquirir tal cuerpo que el señor Gobernador don José, Coppinger hubo de nombrar una Comisión Científica para que diera informe técnico sobre el caso. No menos angustiada serán las voces en Pinar del Río donde el pueblo aguardaba por momento la formación de algún volcán con súbito estallido y convulsiones formidables, por lo cual - resultó altamente benéfica la visita del P. Viñes y D. Pedro Salterain para calmar los ánimos exaltados y llenos de terror. Todo ello no pasó de una - falsa alarma, totalmente infundada, como anuncios de peonía del Dr. Nowack”....*

Padre Mariano Gutiérrez Lanza, S.J.

## **DEDICATORIA**

A los que han contribuido al desarrollo de la Sismología en Cuba y en particular a Don Andrés Poey y Aguirre, y a los Padres Benito Viñes Martorell y Mariano Gutiérrez Lanza, de la C<sup>a</sup> de Jesús.

## AGRADECIMIENTOS

Este texto ha sido posible por el apoyo, decisivo y desinteresado, de muchos colegas cubanos (residentes en la Isla) y que lamentablemente no puedo mencionar, a ellos les transmito mi agradecimiento. Al Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I (Geofísica y Meteorología), de la Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid que facilitó las instalaciones y el ambiente adecuado para la preparación del trabajo. Parte de los fondos provienen de la Comunidad de Madrid (beca postdoctoral de 2001-2003). Al amigo Dr. Diego Córdoba Barba por las discusiones científicas y las fotos de algunos de los equipos sísmicos. Al Profesor Agustín Udías Vallina, por su apoyo personal, y por fotos y documentos facilitados. A Don Salvador Crespillo Maristegui por las fotos realizadas. Las Sras. Gema Andrés y Antonia López enfrentaron con mucha diligencia y eficacia las búsquedas bibliográficas en España y en otras partes del mundo. Se reconoce el apoyo de Doña Rocío Seisdedos Muñoz en los trabajos de búsqueda, localización y compilación en el Archivo de Indias. Por el apoyo para las búsquedas bibliográficas en Dijon, Estrasburgo, Montpellier y Paris (Francia) a la Sra. Janine Fischbach. Al Profesor Jean Vogt, del Bureau de Recherches Geologiques et Minières, Francia, por los datos facilitados. Al Profesor Hervé Philip del Laboratoire GTS – Université Montpellier II (Francia) por las fotos facilitadas. El Profesor Armando Cisternas Silva, del Instituto de Física del Globo de la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo, fue de una gran ayuda por la transmisión de algunas de sus muchas experiencias en el campo de la enseñanza de la Sismología. También al Dr. Julián Boomer del Imperial College (Reino Unido) por la remisión de información. Al Dr. José Manuel Martínez Solares del Instituto Geográfico Nacional (España) por los datos sobre los sismos registrados instrumentalmente. Por los sismogramas remitidos desde el Observatorio del Ebro (España) a la Dra. Arantza Ugalde. A mi familia que ha sufrido y sufre por la lejanía y el ostracismo.

## INDICE

- Dedicatoria
- Agradecimientos

### Introducción

#### 1. La Tierra y la tectónica de placas

##### Introducción

- a) La Tierra, su formación y estructura
- b) Tectónica de placas

#### 2. Las fallas y mecanismo focal de terremotos

##### Introducción

- a) Esfuerzo y deformación
- b) Fallas y tipos principales
  - b.1 Métodos para la detección de las fallas
  - b.2 Ejemplos de fallas en Cuba
- c) Notas sobre Sismología - Sismicidad
- d) Mecanismo focal de terremotos

#### 3. Principales características físico - geográficas y neotectónicas de Cuba

##### Introducción

- a) Escenario geodinámico
  - a.1 Aspectos generales
  - a.2 Aspectos específicos

#### 4. Personalidades relevantes de la Sismología en Cuba

##### Introducción

- a) Síntesis de la vida y la obra de las personalidades históricas
- b) Personalidades de la etapa posterior al año 1962
- c) Apuntes finales

#### 5. José Martí y la Sismología

##### Introducción

- a) El terremoto de Charleston, E.E.U.U.
- b) Trabajo periodístico de Martí
- c) El terremoto del 23.01.1880 de San Cristóbal, Pinar del Río

#### 6. Publicaciones y prensa

##### Introducción

- a) Aspectos generales
- b) Documentación
- c) Apreciaciones específicas sobre la información de la prensa y las publicaciones

#### 7. Instrumental sismológico en Cuba

##### Introducción

- a) Sismogramas y ondas sísmicas
- b) Situación anterior al año 1959
- c) Situación posterior al año 1959
- d) Mapas de epicentros

e) Datos de los registros de algunos terremotos cubanos

## 8. Sismicidad y peligrosidad sísmica en Cuba

### Introducción

- a) Sismicidad
- b) Mecanismos focales
- c) Catálogos de terremotos y de tsunamis
  - c.1 Catálogo de Poey
    - c.1.1 Catálogos de Salterain y de Montelieu - Morales
    - c.2 Evaluación de los catálogos
      - c.2.1 Para la parte occidental
      - c.2.2 Para la parte oriental
      - c.2.3 Del catálogo de Álvarez *et al.* (1999)
  - d) Mapa sismotectónico de Cuba
    - d.1 Zona de entreplacas
    - d.2 Zona de interior de placas
  - e) Interpretación sismotectónica
  - f) Diagnóstico de ocurrencia de terremotos
  - g) Apuntes finales

## 9. Sismos fuertes y catastróficos en la región Suroriental de Cuba

### Introducción

- a) Sismos propios
- b) Sismos de territorios vecinos
- c) Nota sobre las construcciones antisísmicas de Cuba
- d) Diagnóstico del lugar de ocurrencia de terremotos fuertes
  - d.1 Método de reconocimiento de formas
  - d.2 Aplicación del método de reconocimiento de formas a Cuba

## 10. Estudios relacionados con el conocimiento sismológico de Cuba

### Introducción

- a) Visión general
- b) Valoración somera de los trabajos sismotectónicos de Cuba
- c) Valoración sismotectónica alternativa de Cuba Oriental
  - c.1 Modelos utilizados para la interpretación de la Unidad Neotectónica Oriental
  - c.2 Apuntes específicos sobre la sismicidad de Cuba Oriental
  - c.3 Modelo neotectónico teórico de la parte oriental de Cuba
  - c.4 Conclusión para el modelo de Cuba Oriental
- d) Valoración subjetiva

### Conclusiones finales

#### - Referencias

Referencias de base

Referencias específicas

Referencias adicionales

- Anexos

Tabla 1.- Glosario

Tabla 2.- Escala (resumida) de intensidades sísmicas MSK

Tabla 3.- Síntesis de las etapas fundamentales de la historia de la Tierra

Tabla 4.- Errores frecuentes de terminología

Tabla 5.- Relación de los peligros principales asociados con los terremotos

Tabla 6.- Algunas medidas para - sísmicas de nivel personal e individual en las zonas de peligro sísmico muy alto a moderado

Tabla 7.- Selección de terremotos fuertes del mundo

Tabla 8.- Selección de terremotos fuertes de América

Tabla 9.- Selección de terremotos fuertes de Centroamérica y el Caribe

Figuras

## INTRODUCCIÓN

La Sismología como Ciencia es reconocida desde finales del siglo XIX con la instalación de los primeros sismómetros (Fig. I.1). Sin embargo, por lo general en las capas populares y administrativo-estatales, de muchos países, sólo se alcanza a “comprender” su importancia cuando ocurre algún sismo que afecta a una región poblada. En este sentido existe, al nivel mundial, una cierta “cultura” sismológica en las fajas y los sectores más activos en cuanto a cómo proceder cuando ocurre un evento sísmico. Esto no quiere decir que determinados estratos sociales aún no consideren a los terremotos como eventos naturales.

Cuba no resulta ser una excepción de esa “regla”, y en particular los habitantes de la región Suroriental poseen un mayor conocimiento y preparación que los del resto de la isla (que por creencia popular se dice asísmica). No obstante, para los profesionales y dirigentes cubanos que tienen relación, aunque quizás indirecta, en su quehacer con la Sismología la situación es mucho más compleja, debido a que no tienen la preparación ni los conocimientos necesarios para ejecutar, eficientemente, un plan de contingencias ante una catástrofe sísmica.

De otra parte, en la década del 80 (siglo XX) el autor constató la necesidad intelectual de concretar en un texto los acontecimientos que en el campo de la Sismología habían tenido lugar en Cuba hasta esa época; ya que al efectuar búsquedas en los archivos de bibliotecas, instituciones, etc., comprobamos que no existía siquiera alguna publicación o informe que les relacionara cronológicamente. En esa etapa ya existía en el País un grupo de especialistas con cierta calificación en esa disciplina, los cuales fundamentalmente laboraban en Ciudad de La Habana, específicamente, en el entonces Departamento de Sismología del Instituto de Geofísica y Astronomía, de la Academia de Ciencias de Cuba. De otra parte, el muy estricto control de la información (censura) de la administración impide siquiera exponer, a la población a través de la prensa, los daños y las afectaciones que ocasionan los sismos. Ejemplo, los sismos de Pílon (19.02.1976) y Torriente - Jagüey Grande (16.12.1982).

La formación de estos especialistas cubanos (en diversos sectores de la Sismología) se alcanzó mediante la colaboración con diferentes entidades internacionales, entre las que mencionaremos: Instituto de Física de la Tierra, Moscú; Instituto de Investigaciones de Construcciones Sismorresistentes, Tadzchikistán; Instituto de Geofísica, Praga; Universidad de Upsala, Suecia; e Instituto Para Física de la Tierra, Potsdam (Fig. I.2). En ese período se ejecutaron muchas y diversas investigaciones aplicadas específicas al territorio cubano. Todas ellas recogidas en Informes Científico – Técnicos, algunos de ellos con clasificación de “secreto”. También fueron desarrollados tres trabajos científicos de corte histórico - divulgativo: "Desarrollo de la Sismología Instrumental en Cuba" (1983), “José Martí la Sismología y los Terremotos en Zonas Estables" (1995) y “Monografía Sobre la Historia de la Sismología en Cuba” (1996); los cuales cumplían, cabalmente, con lo expresado en el párrafo anterior al llenar el vacío literario. Pero como obra científica al fin, sólo estaba al alcance de los especialistas de ese campo y de algún que otro colega de ramas afines. Es decir, no todos los nacionales (la mayoría no especialista) tenían la posibilidad real de involucrarse en la historia sismológica cubana. Evidentemente, esto conspira contra la preparación psicológica de la población ante la ocurrencia de sismos en el territorio, debido a la ya mencionada creencia generalizada de la asismicidad del archipiélago; e incluso consideramos afecta la formación de los

estudiantes de las carreras de Arquitectura, Geología, Geografía, Geofísica e Ingeniería Civil, por ser la cantera que tiene que continuar los trabajos sismológicos. Esos estudiantes no tienen siquiera incluida la asignatura Sismología en sus programas de carrera.

Cuba ha sufrido y podemos, con cierto grado de certeza, asegurar que sufrirá los efectos de sismos de diferente fuerza (Fig. I.3). Esta afirmación se asume a partir de la interpretación de su posición tectónica actual en el marco geodinámico del conjunto de placas litosféricas (Fig. I.4). Específicamente, ella está localizada como un megabloque (o microplaca) en ascenso diferencial en el borde meridional de la placa litosférica de Norteamérica y en interacción dinámica con la pequeña placa Caribe.

Incorrectamente se ha divulgado que Cuba y el resto de las islas vecinas pertenece al Cinturón de Fuego del Pacífico (Fig. I.5), lo cual está en abierta contradicción con el desarrollo geológico de la región. No obstante esta cuestión divulgada, su influencia es atenuada dramáticamente por la real e indiscutible mayor frecuencia y energía, observada históricamente, de los terremotos en las inmediaciones de Cuba Suroriental (Fig. I.6); lo cual ha derivado en las afirmaciones (no sólo populares) de que es únicamente en Santiago de Cuba donde pueden ocurrir tales fenómenos. Además otro aspecto que bien influye en esta idea de asismicidad es la, ya mencionada, férrea y desmesurada censura científica impuesta por los directivos gubernamentales desde el año 1959.

Por todo esto, el autor considera como un deber, ineludible e imposible de prorrogar más en el tiempo, presentar un texto que recoja sintéticamente y con un nivel y lenguaje comprensibles, para la mayor parte de la población, los acontecimientos y elementos fundamentales del escenario sismológico cubano. Esta obra no debe entenderse jamás es un instrumento cerrado, sino todo lo contrario; ella puede ser complementada - sistemáticamente con las contribuciones de otros colegas nacionales e incluso de otros - países que hayan colaborado en Cuba. En la estructura de la obra se sigue la idea del Padre Mariano Gutiérrez Lanza, S.J. de agrupar, en un único texto resultados - sismológicos, para su divulgación y conservación. Esto conlleva lógicas limitaciones e imperfecciones. Pero en atención a que se ha sido protagonista de algunos de los acontecimientos y a la necesidad de hacerlo llegar a otras personas, estamos dispuestos a correr el riesgo de la evaluación crítica. Ya de Don Alejandro von Humbolt se dijo por parte de Shiller (25.08.1797): ...”A. de H. jamás hará nada verdaderamente grande para la ciencia. Una trivial e inquieta vanidad es la fuerza que inspira todos sus actos”...

El libro tiene diez capítulos, ocho de los cuales recorren los temas más relevantes, desde la perspectiva del autor, del campo sismológico cubano. Lógicamente, estos temas poseen no pocas deficiencias, todas ellas son responsabilidad absoluta del autor. Al final se incluye en tres grupos las referencias principales de los trabajos relacionados con la Sismología en Cuba. Éstas deben servir al lector interesado para ampliar en los temas incluidos aquí. Se ha preparado un glosario (Tabla A1) que debe apoyar a la lectura de los textos. En la tabla A2 hay una versión resumida de la Escala de Intensidades Sísmicas MSK, la cual fue desarrollada por tres especialistas ya fallecidos, Medvedev (Rusia), Kárnik (República Checa) y Sponheuer (Alemania). Ella es la utilizada en Cuba. La Escala del Tiempo Geológico aparece en la tabla A3. Los errores que con mayor frecuencia se escuchan en los medios de comunicación y por personas no

especialistas en Sismología se recogen en la tabla A4. Las tablas A5 y A6 recogen un resumen, respectivamente, de los peligros principales y las medidas a considerar y tomar por terremotos. Y en las tablas A7, A8 y A9 se relacionan algunos de los terremotos más importantes del Mundo, de América y de Centroamérica-Caribe, respectivamente. Por último, hay una amplia y variada ilustración gráfica en el texto que debe ayudar a la comprensión de los temas desarrollados.

## REFERENCIAS DE BASE

(Aquí se agrupan los trabajos principales que sirvieron de modelo para las investigaciones sismológicas en Cuba)

- ABE K. (1984): Complements to "magnitudes of large shallow earthquakes from 1904 to 1983". *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 34:17-23, (en Inglés).
- ABE K. (1981): Magnitudes of large shallow earthquakes from 1904 to 1980. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 27:72-92, (en Inglés).
- ABE K. y S. NOGUCHI (1983): Determination of magnitud for large shallow earthquakes 1898-1917. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 32:45-59, (en Inglés).
- ABE K. y S. NOGUCHI (1983a): Revision of magnitudes of large shallow earthquakes 1897 - 1912: *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, (33):1-11, (en Inglés).
- ABE K. y K. KANAMORI, H. (1979): Temporal variation of the activity of intermediate and deep focus earthquakes. *Jour.Geophys.Res.*, (84):3589-3595, (en Inglés).
- ACHARYA H.K. (1979): Regional variations in the ruptura length – magnitude relationship and their dynamic significance. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 69(6):2063-2084, (en Inglés).
- AKI K. (1987): Magnitude-frequency relation for small earthquakes: a clue to the origin of  $f_{max}$  of large earthquake. *Jour.Geophys.Res.*, 92:1349-1355, (en Inglés).
- AKI K. (1984): Asperities, barriers, characteristic earthquakes and strong motion prediction. *Jour.Geophys.Res.*, 89:5867-5872, (en Inglés).
- AKI K. (1979): Characterization of barriers of an earthquake fault. *Jour.Geophys.Res.*, 84:6140-6148, (en Inglés).
- AKI K. (1969): Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves. *Jour.Geophys.Res.*, 74:615-631, (en Inglés).
- AKI K. (1965): Maximum likelihood estimate of  $b$  in the formula  $\log N = a - bM$  and its confidence limits. *Bull. of the Earth.Research Institute*, 43:237-239, (en Inglés).
- AKI A. y P.G. RICHARDS (1980): Quantitative seismology. Theory and methods. 2 t. W.H. Freeman, San Francisco, (en Inglés).
- ALGERMISSEN S.T. (1976): Seismic hazards. *Revista Geofísica*, 5:31-39 (en Inglés).
- ALMELA A. y V. PUYAL (1960): Mapa sismotectónico de España Peninsular y Baleares. Instituto Geológico y Minero e Instituto Geográfico y Catastral de España.
- ALEKSEEVSKAYA M., A. GABRIELOV, I. GELFAND, A. GVISHIANI y E. RANTSMAN (1977): Formal morphostructural zoning of mountain territories. *J. of Geophysics*, 43:227-233, (en Inglés).
- AMBRASEYS N.N. (1985): Intensity attenuation and magnitude intensity relationship for north-west European earthquakes. *Earth.Eng.Struc.Dyn.*, 13:733-739, (en Inglés).
- AMBRASEYS N.N. (1974): Notes on earthquake engineering. *Engineering Seismology and Earthquake Engineering*, Editor: J. Solnes, (en Inglés).
- ANDREWS D.J. (1989): Mechanics of fault junction. *Jour.Geophys.Res.*, 94:9389-9397, (en Inglés).
- ANGELIER J. (1984): Tectonic analysis of fault slip data sets. *Jour.Geophys.Res.*, 89:5835-5848, (en Inglés).
- ANGELIER J. (1983): Tectonic fractures and extensional tectonics. *Nature*, 301:49-51, (en Inglés).

- ARANOVICH Z.I., D.P. KIRNOS y V.M. FREMD (1974): Equipamiento y metodología de las observaciones sismométricas en la U.R.S.S. Editorial Nauka, Moscú, 110 p., (en Ruso).
- ARCH C., B.J. JOHNSTON *et al.* (1985): Seismotectonics of the southern Appalachians. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 75(1):291, (en Inglés).
- ARISTARJOVA L.R. (1989): Utilización de la información cósmica para la solución de tareas sismológicas y el papel de las investigaciones geomorfológicas. *Geomorfología*, 10:100-110, (en Ruso).
- ARMIJO R. y A. CISTERNAS (1978): Un problème inverse en microtectonique cassante. *C.R.Acad.Sc.Paris*, 287, D:595-598, (en Francés).
- ARMIJO R., E. CAREY y A. CISTERNAS (1978): The inverse problem in microtectonics and the separation of tectonic phases. *Tectonophysics*, 82:145-160, (en Inglés).
- ARSOVSKY M. y D. HADZIEVSKY (1970): Correlation between neotectonics and the seismicity of Macedonia. *Tectonophysics*, 9:129-142, (en Inglés).
- BALAKINA L., E.F. SAVARENSKY y A.V. VVREDENSKAYA (1961): On determination of earthquake mechanism. *Physics and Chemistry of the Earth*, L.M. Ahrens Editor, 4: 211-238, (en Inglés).
- BALASSANIAN S.Yu., A.S. KARAKHANIAN, S.V. NAZARETIAN, A.R. ARAKELIAN, M.G. MELKUMIAN y A.V. MANUKIAN (1994): Retrospective analysis of the Spitak earthquake. *Proc.Intern. Conference at Yerevan-Sevan*, Armenia, 1-12, (en Inglés).
- BANKWITZ P. (1987): Problem – oriented interpretation of satellite image. *Remote Sensing Application to Geological Sciences. United Nations Training Course, UNESCO*, 5-24, (en Inglés).
- BATH M. (1973): Introduction to Seismology. Birkhäuser Verlag, (en Inglés).
- BATH M. (1968): Mathematical aspects of seismology. Elsevier, Amsterdam, (en Inglés).
- BELOUSOV V.V. (1971): Problemas básicos de Geotectónica. 1ª Edición, Editorial Omega S.A., Barcelona.
- BEN-MENAHEN A. (1962): Radiation of seismic body waves from finite moving sources in the Earth. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 67:396-474, (en Inglés).
- BEN-MENAHEN A. (1961): Radiation of seismic waves from finite moving sources. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 51:401-435, (en Inglés).
- BEN-MENAHEN A. y S.J. SINGH (1981): Seismic waves and sources. Springer Verlag, 1108 p., (en Inglés).
- BESSANOVA E.N., O.D. GOTSADZE, V.I. KEILIS-BOROK, I.V. KIRILLOVA, S.D. KOGAN, T.I. KIKHTIKOVA, L.N. MALINOVSKAYA, G.I. PAVLOVA y A.A. SORSKII (1979): Investigation of mechanism of earthquakes. Transactions (TRUDY) of Geophysics Institute of Academy of Sciences of the USSR. American Geophysical Union, 40(166), 201 p., (en Inglés).
- BOLT B.A (1981): Terremotos. Editorial Reverté S.A., Barcelona.
- BRUNE J.N. (1970): Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Jour.Geophys.Res.*, 75(26):4997-5009, (en Inglés).
- BRUNE J.N. (1968): Seismic moment, seismicity and rate of slip along major fault zone. *Jour.Geophys.Res.*, 73, (en Inglés).
- BULLEN K.E. (1963): Seismology. Cambridge University Press, 3<sup>rd</sup> edition, (en Inglés).
- BULLEN K.E. (1953): An introduction to the theory of Seismology. Cambridge, The University Press, 296 p., (en Inglés).

- BUNÉ V.I. y G.P. GORSHKOV (1980): Regionalización sísmica de la URSS. Cuestiones metodológicas y descripción del mapa de 1978. Editorial Nauka, Moscú, 308 p., (en Ruso).
- BUNÉ V.I. e I.R. KATRICK (1977): Data on probability of earthquakes in the map of seismic zoning. *Proceedings of the 3rd International Symposium on the Annual of Seismology and Seismic Risk*, 17-22 October. Prague, Academy 279-294. Liblice Castle, Czechoslovakia, (en Inglés).
- BUNÉ, V.I. y V.M. REIMAN (1960): Magnitud de los terremotos en áreas de múltiples fallas. Traducción del TISS, 7:3-26, (en Ruso).
- BUNÉ, V.I., N.I. NIKOLAEV, y J.P. POLYAKOVA (1970): Scheme of seismotectonic regions of Europe, distribution of strong earthquake foci and seismicity in 1956-1965. *Proceedings of XII Assemblée de la Commission Sismologique Européenne*, 88-98 p., Luxembourg, 21-29 September, (en Inglés).
- BUNÉ V.I., N.A. VUDENSKAYA, M.V. GZOVSKII e I.V. GORBUNOVA (1971): Sísmicidad y regionalización sísmica del Asia Central. *El terremoto de Tashkent del 26 de Abril de 1966*. II, 1, 347-369. Instituto de Física de la Tierra, Academia de Ciencias de la U.R.S.S., (en Ruso).
- BUNÉ, V.I., I.V. KIRILLOVA, I.V. ANANIIN, N.A. UVEDENSKAIA, G.I. REISNER y V.N. SHOLPO (1971): Experiencia sobre las estimaciones de los daños sísmicos máximos en el ejemplo del Cáucaso. *Seismic investigations for constructions: Problems of Engineering Seismology*, 14:3-29 Editorial Nauka, Moscú, (en Ruso).
- BUNÉ, V.I., J.T. TURBOVICH, B.A. BORISOFF, V.G. GITIS, G.I. REISNER y E.F. YURKOV (1974): Sobre el método para revelar la conexión de la magnitud de los terremotos con los parámetros tectónicos de una región. *Epublicación Especial de la Academia de Ciencias de la U.S.S.R.*, 214(3):553-556, (en Ruso).
- BUREAU DE RESEARCHES GEOLOGIQUES ET MINERES (1981): Carte sismotectonique de La France. *Memoire B.R.G.N.*, 11:375-386, (en Francés).
- BYERLY P. (1955): Nature of faulting as deduced from seismograms. *Crust of the Earth Geol.Soc.Am.*, 75-85, (en Inglés).
- BYERLY P. (1942): *Seismology*. Prentice-Hall Inc., Nueva York, 256 p., (en Inglés).
- CARDONA J.R. (1983): Sismotectónica del Valle de Cochabamba. Folleto. La Paz, Bolivia.
- CAREY E. (1976): Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles. *Rev.Geogr.Phys.Geol.Dyn.*, 21:57-66, (en Francés).
- CISTERNAS A. (1985): Esfuerzos y deformaciones en Tectónica. En: Mecanismo focal de los terremotos y tectónica. Editorial de la Universidad Complutense de Madrid. Udías *et al.*, Editores.
- CISTERNAS A., P. GODEFROY, A. GVISHIANI, A.I. GORSHKOV, V. KOSOBOKOV, M. LAMBERT, E. RANZMAN, J. SALLANTIN, H. SOLDANO, A. SOLOVIEV y C. WEBER (1985): A dual approach to recognition of earthquake prone areas in Western Alps. *Annales Geophysicae*, 3(2):249-270, (en Inglés).
- CHAPMAN M.C. y G.A. BOLLINGER (1984): Reliability of focal depth estimates from a small network. *Eastern Section Seism.Soc.Am., Earthquake Notes*, 55(4):16-25, (en Inglés).
- CHIGARIOV V.P. (1977): Teoretical aspects and regional morphostructural analysis. *Compendios de las Investigaciones Naturales de la Sociedad Moscovita*, 12:85-95, Universidad de Moscú, (en Ruso).
- CLARK S.P. (1974): La estructura de la Tierra. Ediciones Omega, Barcelona.

- CLUFF L.S., M.R. HANSEN, C.C. TAYLOR, *et al.* (1972): Site evaluation in seismically active region. an interdisciplinary term approach. *Proceedings of the International Conference of Microzonation*. Seattle Wash., 2:957-987, (en Inglés).
- COOPERSMITH K.J. (1988): Temporal and spatial clustering of earthquakes activity in the Central and Eastern United States. *Seism.Res.Letters*, 59(4):299-304, (en Inglés).
- COOPERSMITH K.J. y D.P. SCHWARTZ (1984): Introduction of the special section on fault behaviour and the earthquake generation process. *Jour.Geophys.Res.*, 89:5669-5673, (en Inglés).
- CORNELL C.A. (1968): Engineering seismic risk analysis. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 58:1583-1606, (en Inglés).
- CORNET F.H. y D. BURLET (1992): Stress field determination in France by hydraulic tests in boreholes. *Jour.Geophys.Res.*, 97:11829-11849, (en Inglés).
- DAS S. y K. AKI (1977): Fault planes with barriers: a versatile earthquake model. *Jour.Geophys.Res.*, 82:5648-5670, (en Inglés).
- DEWEY J. y P. BYERLY (1969): The early history of seismometry (to 1900): *Bull.Seism.Soc.Am.*, (59):183-227, (en Inglés).
- DUMISTRASHKO N.V. y D.A. LILIENBERG (1954): Métodos geomorfológicos en las investigaciones sismotectónicas. *Trudy Geophysics*, 150 p. Academia de Ciencias de la U.R.S.S., Moscú, (en Ruso).
- DZIEWONSKI A.M., T.A. CHOU y J.H. WOODHOUSE (1981): Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *Jour.Geophys.Res.*, 86:2825-2852, (en Inglés).
- DZIEWONSKI A.M., G. EKSTRON, J.E. FRANZEN y H.H. WOODHOUSE (1987): Global seismicity of 1977: Centroid-moment tensor solution for 471 earthquakes. *Phys.Earth and Planetary Interiors*, 45:11-36, (en Inglés).
- Electric Power Research Institute (EPRI): Seismic hazard methodology for the Central and Eastern United States. Vol. 1: Methodology Report NP-4276, (en Inglés).
- ETCHECOPAR A., G. VASSEUR y M. DAIGNIERES (1981): An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensor from fault striation analysis. *Jour.Struct.Geol.*, 3:51-65, (en Inglés).
- ELDER J. (1978): Las entrañas de la Tierra. Editorial A. Bosch, Barcelona.
- EPSTEIN B. y C. LOMNITZ (1966): A model for the occurrence of large earthquakes. *Nature*, 211:954-956, (en Inglés).
- ERGIN K. (1969): Observed intensity-epicentral distance relations in earthquakes. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 59:1227-1238, (en Inglés).
- ERSHOV I.A. (1977): Ejemplo de interpretación de los registros de microsismos. En: *Microzonificación Sísmica*. Editorial Nauka, 13-26, (en Ruso).
- ERSHOV I.A. (1973): Sobre la utilización de los microsismos de período corto en la microzoificación sísmica. *Microzonificación Sísmica*, Vol. 1, 14-26, Dushambé, (en Ruso).
- ESTRADA G. (1976): Un código latinoamericano para la prevención del riesgo sísmico. *Revista Geofísica*, 4:9-13. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- FEDOTOV S.A. (1965): Regularities of the distribution of strong earthquakes in Kamchatka, the Kuril Islands and Northeastern Japan. *Fizika Zemli*, 36, (en Ruso).
- FEDOTOV S.A., y L.S. SHUMILINA (1971): Sacudibilidad sísmica de Kamchatka. *Fizika Zemli*, 9:3-15, (en Ruso).
- FILONENKO M. (1965): Theory of elasticity. Dover Publications, (en Inglés).

- FLORENCOV N.A. (1960): Sobre la neotectónica y la sismicidad en el área montañosa Baikal - Mongolia. *Geol.Geophys.*, 1:79-90, (en Ruso).
- FROIDEVEAUX C., C. PAQUIN y M. SOURIAN (1980): Tectonic stress in France: in situ measurements with flatjack. *Jour.Geophys.Res.*, 85, 6342 (en Inglés).
- GALBIS J. (1940): Catálogo sísmico. Dirección General del Instituto Geográfico, Catastral y de Estadística de España. 2 tomos.
- GALITZIN B. (1921): Conferencias sobre sismometría. Talleres del Instituto Geográfico y Estadístico de España, 558 p., Madrid.
- GASS I.G., P.J. SMITH y R.C.L. WILSON (1978): Introducción a las Ciencias de la Tierra. Editorial Reverté.
- GEA F. y J. CANTOS (1963): Apuntes de geofísica aplicada. Métodos sísmicos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Madrid.
- GORIELOV S.K., M. KULMAMMEDOV y M. KURBANOV (1973): Relación entre el relieve y las estructuras profundas con la sismicidad en Kopetdag. Editorial Nauka, Moscú, 108 p., (en Ruso).
- GUBIN I. (1990): Sismotectónica en la U.R.S.S. *Ciencias de la U.R.S.S.*, 4:3-10.
- GUERASIMOV I.P. (1973): Correlación dinámica entre los movimientos recientes y los procesos exógenos. *Movimientos Recientes de la Corteza.* Academia de Ciencias de la U.R.S.S., Estonia, 28 p., (en Ruso).
- GUERASIMOV I.P. y E.YA. RANTSAMAN (1973): Morfoestructuras de los países montañosos y la sismicidad. *Geomorphology*, 1:3-13, (en Ruso).
- GUMBEL E.J. (1958): Statistics of extremes. Columbia University Press, New York, 375 p., (en Inglés).
- GUTENBERG y CH.F. RICHTER (1954): Seismicity of the Earth and associated phenomenon. Princeton University Press, 2<sup>nd</sup> edition, (en Inglés).
- GRÜNTAL G., P. BANKWITZ, y E. BANKWITZ (1985): Results about regional seismotectonic studies in Central Europe. *Gerlands Beitr.Geophysik.*, 94:4-6, (en Inglés).
- GRÜNTAL G., V. SCHENK, A. ZEMAN y Z. SCHENKOVA (1989): A probable seismotectonic model for the earthquake swarm of 1985 / 1986 in the focal area Vogtland / Western Bohemia. Editor P. Bormann. *Monitoring and Analysis of the Earthquake Swarm 1985 / 1986 in the Region Vogtland / Western Bohemia.* Akademie der Wissenschaften der DDR, Veroff. Zentralinstitut für Physik der Erde, 110:255-267, (en Inglés).
- GRÜNTAL G., P. BANKWITZ, E. BANKWITZ, J. BEDNARK, B. GUTERECH, V. SCHENK, Z. SCHENKOVÁ y A. ZEMAN (1985a): Seismic and geological features of the eastern part of the West European Platform. *Gerlands Beitr. Geophysik.*, 94:4-16, (en Inglés).
- GUELFAND I.M., SH.A. GUBERMAN, V.I. KEYLIS-BOROK, L. KNOPOFF, F.S. PRESS, E.YU. RANTSAMAN, I.M. ROTVAIN y A.M. SIDOR SKII (1976): Condiciones de surgimiento de terremotos fuertes (California y otras regiones). *Vichislitel'naya Seismologiya*, 9:3-91, (en Ruso).
- GUTENBERG B. (1959): Physics of the earth interior. Academic Press, New York, (en Inglés).
- GVISHIANI A., A. GORSHKOV, V. KOSOBOKOV, A. CISTERNAS, H. PHILIP y C. WEBER (1987): Identification of seismically dangerous zones in the Pyrenees. *Annales Geophysicae* 87, (06B):681-690, (en Inglés).
- GVISHIANI A.D., A.V. ZELEVINSKY, V.I. KEYLIS-BOROK y V.G. KOSOBOKOV (1980): Recocimiento del área donde los terremotos más fuertes ( $M \geq 8.2$ ) pueden ocurrir. *Vichislitel'naya Seismologiya*, 13:30-43, (en Ruso).

- GVSIIHANI A.D., A.V. ZELEVINSKY, V.I. KEYLIS-BOROK y V.G. KOSOBOKOV (1978): Estudio de las áreas de ocurrencia de los terremotos más violentos ocurren en el Cinturón del Océano Pacífico con la ayuda de algoritmos de reconocimiento. *Fizika Zemli*, 9:31-42, (en Ruso).
- HALLAN A. (1976): De la deriva de los continentes a la tectónica de placas. Editorial Labor, Barcelona.
- HANCOCK P.L. (1985): Microtectonics: Principles and practice. *Jour. of Structural Geology*, 7:437-457, (en Inglés).
- HASKELL N.A. (1966): Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating faults. Part II. A statistical source model. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 56:124-140, (en Inglés).
- HASKELL N.A. (1964): Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating faults. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 77:1429-1436, (en Inglés).
- HAYS W.W. (1991): Hazard and risk assessments in the United States. *Episodes*, 14(1):7-12, (en Inglés).
- HEATON T.E. y H. KANAMORI (1986): Seismic potential associated with subduction in the Northwestern United States. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 933-941, (en Inglés).
- HONDA H. (1962): Earthquake mechanism and seismic waves. *J.Phys.Earth.*, 10(2):1-98, (en Inglés).
- HONDA H. (1957): The mechanism of the earthquakes. *Sc.Rep. Tohoku Univ.Ser.Geophys.*, 9:1-46, (en Inglés).
- INGLADA V. (1942): Estudio sobre la propagación de ondas sísmicas. Instituto Geográfico, Madrid.
- INGLADA Y ORS V. (1943): Contribución al estudio del batisismo sudamericano de 17 de enero de 1922. 1ª parte, 166 p. Dirección General del Instituto Geográfico y Catastral, Madrid.
- Instituto Geográfico Nacional (1992): Mapa sismotectónico de la Península Ibérica, escala 1:1.000.000.
- Instituto Geográfico Nacional (1981): El terremoto de Andalucía del 25 de diciembre de 1884. 139 p., Madrid.
- ISACKS B. y P. MOLNAR (1971): Distribution of stresses in a descending lithosphere from a global survey of focal mechanism solutions of mantle earthquakes. *Rev.Geophys.Space Phys.*, 9:103-174, (en Inglés).
- ISACKS B., J. OLIVER y L.R. SYKES (1968): Seismology and the new global tectonics. *Jour.Geophys.Res.*, 73:5855-5899, (en Inglés).
- JAIN V.E. (1980): Geotectónica General. Editorial Mir, 2 partes, Moscú.
- JEFREYS H. (1950): Earthquakes and mountains. 191 p., Methuen & Co. LTD, London, (en Inglés).
- JEFREYS H. (1959): The earth. Cambridge University Press, (en Inglés).
- JOHNSTON A.C. (1996): Seismic moment assessment of earthquake in stable continental regions, 3, New Madrid 1811-1812, Charleston 1866 and Lisbon 1755. *Geophysics J.Int.*, 126:314-344, (en Inglés).
- JOHNSTON A.C. y L.R. KANTER (1990): Earthquakes in stable continental crust. *Scientific American*, 42-50, (en Inglés).
- KAGAN Y.Y. y D.D. JACKSON (1995): New seismic gap hypothesis: Five years after. *Jour.Geophys.Res.*, 100:3943-3959, (en Inglés).
- KAGAN Y.Y. y D.D. JACKSON (1994): Seismic gap hypothesis. Ten years after. *Jour.Geophys.Res.*, 99:13685-13700, (en Inglés).

- KANAMORI H. (1980): Global seismicity. Earthquakes: observation, theory and interpretation. Editors: H. Kario y E. Boschi, North Holland New York, 597-608, (en Inglés).
- KANAMORI H. y G.S. STEWART (1976): Seismological aspects of the Guatemala earthquake of february 4, 1976. *Jour.Geophys.Res.*, 83:3427-3434, (en Inglés).
- KANAMORI H. y D.L. ANDERSON (1975): Theoretical basis of some empirical relation in Seismology. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 65:1073-1095, (en Inglés).
- KARNIK V. (1969): Seismicity of European area. 2 Vols. Dordrecht, Holland, Reidel, (en Inglés).
- KEILIS-BOROK V.I. (1950): On the question of determining the dynamic parameters of a focus. *Trudy Geof.Inst.Akad.Nauk SSSR*, 9(136):3-19, (en Ruso).
- KEILIS-BOROK V.I. (1987): Ondas sísmicas. Editorial Nauka, Moscú, 278 p., (en Ruso).
- KELLEHER J. (1972): Rupture zones of large South Americas earthquakes and some predictions. *Jour.Geophys.Res.*, 77(11):2087-2103, (en Inglés).
- KELLEHER J, y W. McCANN (1976): Buoyant zones great earthquakes and unstable boundaries of subduction. *Jour.Geophys.Res.*, 81(26): 4885-4896, (en Inglés).
- KELLEHER J., L. SYKES y L. OLIVER (1973): Possible criteria for predicting earthquake locations and their application to major plate boundaries of the Pacific and the Caribbean. *Jour.Geophys.Res.*, 78(14):2547-2585, (en Inglés).
- KIJKO A. y M.M. DESSOKEY (1987): Application of extreme magnitude distribution to incomplete earthquake files. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 77:1429-1436, (en Inglés).
- KNOPOFF L. (1961): Analytical calculation of the fault plane problem. *Publ.Dom.Obs.*, Ottawa, 24:309-315, (en Inglés).
- KÖNING L.P. (1942): On the mechanism of deep focus earthquakes. *Gerl.Beitr.Geoph.*, 59, S:159-197, (en Inglés).
- KOSTROV B.K. y S. DAS (1988): Earthquake source mechanics. Cambridge University Press, (en Inglés).
- KRESTNIKOV V.N. (1987): Geological aspects of earthquakes hazard. *Proceedings of the UNDRO/USSR/UNESCO/UNDP. Training seminar on earthquake prediction and mitigation of earthquake losses*. U.R.S.S., 6-28, (en Inglés).
- LAY T. y T.C. WALLACE (1995): Modern global seismology. Academic, Nueva York, (en Inglés).
- LEE W.H.K. y J.C. LAHR (1978): HYPO 71 (revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. U.S.Geol. Survey, Open File Report, 75-311, (en Inglés).
- LOMNITZ C. (1974): Global tectonics and earthquake risk. Elsevier, Amsterdam, (en Inglés).
- LOZANO L. (1972): Introducción a la geofísica. Editorial PARANINFO, Madrid.
- MACELWANE J.B. y F.W. SOHON (1949): Theoretical seismology: I Geodynamics, II Seismometry. Saint Louis University, (en Inglés).
- MADARIAGA R. (1977): High frequency radiation from crack (stress drop) models of earthquake faulting. *Geophys.J.R.Astr.Soc.*, 151:625-651, (en Inglés).
- MADARIAGA R. (1976): Dynamics of an expanding circular fault. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 66:639-666, (en Inglés).
- MAKAROV G.V. (1981): Lineamientos (problemas y direcciones de la investigación con ayuda de medios y métodos aerocósmicos). *Investigación de la Tierra Desde el Cosmos*, 4:407-414, (en Ruso).
- MAKAROV G.V. e Y.K. SCHUKIN (1976): Valoración de la actividad de las fallas ocultas. *Geotektonika*, 1:96-109, (en Ruso).

- MAMADALIEV YU.A. (1972): Estudio de los parámetros del régimen sísmico de la región de Dushanbé – Bajsh de Tadjikistán. Donish, Dusshanbé, (en Ruso).
- MARTIN A.J. (1984): Riesgo sísmico en la Península Ibérica. Tesis doctoral, Instituto Geográfico Nacional, II tomos, Madrid.
- MATSUDA T. e Y. KINUGASA (1991): Active faults in Japan. *Episodes*, 14(3):199-212, (en Inglés).
- McCANN W.R. y W.D. PENNINGTON (1990): Seismicity, large earthquakes and the margin of Caribbean plate. *The Geol. of North America, Vol. H. The Caribbean Region. Geol.Soc.Am.*, (en Inglés).
- McCANN W.R., S.P. NISHENKO, L. SYKES y J. KRAME (1979): Seismic gaps and plate tectonics, seismic potential for major boundaries. *Pure appl.geophys.*, 177:1082-1147, (en Inglés).
- McKENZIE D. (1972): Active tectonics of the Meditteranean region. *Geophys.J.Roy.Astr.Soc.*, 30:109-185, (en Inglés).
- McKENZIE D. y J.A. JACKSON (1983): The relationship between rates, crustal thickening, paleomagnetism, finite strain and fault movements with deforming zone. *Earth Planet.Sci.Letters*, 65:182-202 (en Inglés).
- MEDVEDEV S.V. (1977): Microregionalización sísmica. Editorial Nauka, Moscú, 248 p., (en Ruso).
- MEDVIEDEV S.V. (1973): Recomendaciones para la microregionalización sísmica RMS-73. *Cuestiones de ingeniería sísmica*, vol. 15, 6-34. Editorial Nauka, Moscú, (en Ruso).
- MEDVIEDEV S.V. (1962): Ingeniería Sismológica. Editorial Nauka, Moscú, (en Ruso).
- MEDVIEDEV S.V. (1952): Valoración de la intensidad sísmica en dependencia de las condiciones de los suelos (en ruso). *Trabajos del Instituto de Geofísica, Academia de Ciencias de la URSS*, No. 14, (en Ruso).
- MENDIGUREN J.A. (1966): Focal mechanism and pressure axis direction in Central America and South America. *Bull.Int.Inst.Seism. and Earthq.Eng.*, 3:1-20, (en Inglés).
- MEZCUA J. (1982): Catálogo de isosistas de la Península Ibérica. Publicación Técnica, Núm. 202, 62 p. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- MILNE J. (1911): A catalogue of destructive earthquakes A.D. 7 to A.D. 1899. *British Ass. For the Adv. of Sc*, (en Inglés).
- MOGI K. (1967): Earthquakes and fractures. *Tectonophysics*, 5:35-55, (en Inglés).
- MOLNAR P. (1979): Earthquake recurrence intervals and plate tectonics. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 69(1):113-132, (en Inglés).
- MONTESUS DE BALLORE F. (1906): *Les tremblements de terre: Geographie sismologique*. Editorial Colin, Paris, 488 p., (en Francés).
- MOREIRA V. (1984): Sismicidad histórica de Portugal. *Revista do Instituto Nacional de Meteorología e Geofísica*, 79 p. Lisboa, (en Inglés).
- MUNUERA J.M. (1965): La actividad sísmica en la región de la Península Ibérica hasta fines de 1960. *Revista de Geofísica*, 24(95):265-284.
- MUNUERA J.M. (1963): Datos básicos para un estudio de sismicidad en el área de la Península Ibérica. *Memorias del Instituto Geográfico y Catastral*. Tomo XXXII, no. 1.
- NISHENKO S.P. (1991): Circum-Pacific seismic potential: 1989-1999. *Pure appl. geophys.*, 135:169-259, (en Inglés).

- NISHENKO S.P. y L.R. SYKES (1993): Comment on “Seismic gap hypothesis: Ten years after” by Y.Y.Kagan y D.D.Jackson. *Jour.Geophys.Res.*, 98:9909-9916, (en Inglés).
- OKUBO P.G. y K. AKI (1985): Fractal geometry of the San Andreas fault system. *Jour.Geophys.Res.*, 92:345-355, (en Inglés).
- OLHOVICH V.A. (1959). Curso de Sismología Aplicada. Editorial Nauka, 501 p., (en Ruso).
- PAVONI N. (1985): Guidelines for the construction of seismotectonic maps. *Tectonophysics*, 117:1-6, (en Inglés).
- PETTERSEN MD. y S.G. WESNOUSKY (1994): Fault slip rates and earthquake histories for active faults in Southern California. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 84(5):1608-1649, (en Inglés).
- PLAFKER G., M. BONILLA y S. BONI S. (1976): Guatemalan earthquake of February 4, 1976, a preliminary report. *Geol.Surv.Profess.Pap.*, 1002:38-51, (en Inglés).
- POLIAKOVA T.P. (1985) Sismicidad de la parte central del cinturón alpino. Editorial Nauka, 160 p., (en Ruso).
- POLONIC G. (1986): On seismotectonic in the Moldavian Platform and adjacent units. *Geophysique*, 30:11-17, (en Inglés).
- POPOV V.V. (1959): Criterios ingeniero-geológicos para su aplicación en la microrregionalización sísmica. *Fizika Zemli*, 5, 172 p., (en Ruso).
- RAMÍREZ J.E. y L.G. DURÁN (1957): Nociones de prospección geofísica. Universidad Nacional, Bogotá – Colombia.
- RANTSMAN E.Yu. (1979): Lugares de terremotos y morfoestructuras de países montañosos. Editorial Nauka, Moscú, 171 p., (en Ruso).
- RAUTIAN T.G. (1960): Amortiguación de las ondas sísmicas y la energía de los terremotos. *Trabajos TISS*, Academia de Ciencias de la R.S.S. de Tadzhiistán, Tomo VII, 200 p., (en Ruso).
- REID H.F. (1911): The elastic-rebound theory of earthquakes. *Bull.Dept. of Geology*, 6:413-444, (en Inglés).
- REISNER G.I. (1980): Métodos geológicos de estimación de la peligrosidad sísmica. Editorial Nauka, Moscú, 109 p., (en Ruso).
- REY PASTOR A. (1956): Mapa seismotectónico de la Península Ibérica, escala 1:2.000.000. Instituto Geográfico y Catastral, Madrid.
- REY PASTOR A. (1924): Croquis seismotectónico de la Península Ibérica, escala 1:3.000.000. Instituto Geográfico y Catastral, Madrid.
- RICHTER CH.F. (1958): Elementary seismology. W.H. Freeman and Company, 765 p., (en Inglés).
- RIKITAKE J. (1976): Earthquake prediction. Amsterdam: Elsevier, (en Inglés).
- RIZNICHENKO YU.V. (1992): Problems of seismology. Editorial Mir, Moscú, 445 p., (en Inglés).
- RIZNICHENKO YU.V. (1979): Sacudibilidad sísmica del territorio de la URSS. Editorial Nauka, Moscú, 192 p., (en Ruso).
- RIZNICHENKO YU.V. (1974): Datos geólogo-geofísicos en la solución del problema de la peligrosidad sísmica. *Materiales de la Conferencia Sobre el Estudio de la sismicidad y la Estructura Profunda de Azerbaidzhan*, Bakú, (en Ruso).
- RIZNICHENKO YU.V. (1969): Problemas del estudio detallado de la sismicidad regional. *Fizika Zemli*, 7:3-20, (en Ruso).
- RIZNICHENKO YU.V. (1965): De la actividad de los focos de los terremotos a la sacudibilidad de la superficie terrestre. *Fizika Zemli*, 11.1-12, (en Ruso).

- RIZNICHENKO YU.V. (1964): Método suma de terremotos para el estudio de la actividad sísmica. *Izv. Ansssr. Ser. Geofizicheskaya*, 7:969-977, (en Ruso).
- RIZNICHENKO YU.V. (1964a): En relación con la magnitud máxima de los terremotos y la actividad sísmica. *Doklady AN SSSR*, 157(6):1352-1354, (en Ruso).
- ROBERTS J.L. (1980): Political and administrative considerations in the establishment of an earthquake prediction and warning procedure. *Revista Geofísica*, 12:25-35, (en Inglés).
- RUSTANOVICH D.N. (1967): Sismicidad del territorio de la R.S.S. de Turmenia y el terremoto de Anjabad de 1948. *Cuestiones de sismología Ingeniería*, Editorial Nauka, Moscú, (en Ruso).
- SAVAGE J.C. (1972): Relation of corner frequency to fault dimensions. *Jour. Geophys. Res.*, 77:3788-3793, (en Inglés).
- SAWARENSKY E.F. (1975): Seismic waves. Editorial Mir, Moscú, (en Inglés).
- SAWARENSKY E.F. y D.P. KIRNOS (1960): Elemente der seismologie und seismometrie. Akademie Verlag, Berlín (en Alemán).
- SCHOLZ C.H. (1989): The mechanics of earthquake faulting. Cambridge University press, United Kingdom, (en Inglés).
- SCHWARTZ D.P. (1984): Fault behaviour and characteristic earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones. *Jour. Geophys. Res.*, 89(7):5681-5698, (en Inglés).
- SCHWARTZ D.P., K.J. COOPERSMITH, F.H. SWAN III, P. SOMERVILLE y W.V. SAVAGE (1981): Characteristic earthquakes on intraplate normal faults. *Earthquake Notes*, 52, p. 71, (en Inglés).
- Scientific American* (1978): Deriva continental y tectónica de placas. 2da Edición, H. Blume Ediciones, Madrid.
- SEED H.B. (1982): The selection of design earthquakes for critical structures. *Bull. of the Seism. Soc. of Am.*, 72(6):S7-S12, (en Inglés).
- SHEBALIN N.V. (1971): Sobre la magnitud máxima y la intensidad máxima de los terremotos. *Fizika Zemli*, 6:12-20, (en Ruso).
- SHEBALIN N.V. (1971a): Sobre los períodos predominantes, el espectro y el foco de los terremotos fuertes. *Investigaciones Sísmicas Para la Construcción, Voprosi Inzheniernoi Seismologii*, 14:50-78, (en Ruso).
- SHTEINBERG B.B., Z.A. ZONINA, K.G. PLETNEV y P.A. ALEKSIN (1973): Parámetros de las oscilaciones de los suelos en el terremoto de Daguestán de 1970. *Voprosi Inzheniernoi Seismologii*, 15:116-129, (en Ruso).
- SIMPSON D.W. y P.G. ROCHARDS (1981): Earthquake prediction. An international review. American Geophysical Union, Washington, (en Inglés).
- SIMS J.D. (1973): Earthquake-induced structures in sediments of Van Norman Lake, San Fernando, California. *Nature*, 182:161-163 (en Inglés).
- SMITH P.J. (1975): Temas de Geofísica. Editorial Reverté, S.A., España.
- SMITH S.W. (1976): Determination of maximum earthquake magnitude. *Geophys. Res. Letters*, 3(6):351-354, (en Inglés).
- SOHON F.W. (1932): Seismometry. Editorial J. Wiley, New York, (en Inglés).
- SOLOMONENKO V.P. (1962): Identificación de zonas de epicentros de terremotos por características geológicas. *Izv. Acad. Sci.*, URSS, 11:38-74, (en Ruso).
- SPIRIDONOV H. y H. GRIGOROVA (1980): On the interrelation between seismicity and fault structures identified by space image interpretation. *Space Research in Bulgary*, Sofia, 3:42-46, (en Inglés).

- SPONHEUER W. (1960): *Methoden zur herdtiefenbestimmung in der makroseismik*. Akademie-Verlag, Berin, (en Alemán).
- STACEY F.D. (1969): *Physics of the earth*. John Wiley and Sons, New York, (en Inglés).
- STAUDER W. y G.A. BOLLINGER (1964): The S-wave project for focal mechanism studies. Earthquakes of 1962. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 54(6):2199-2208, (en Inglés).
- STEIN S., C. DEMETS, R. GORDON, J. BRODHOLT, D. ARGUS, J. ENGELN, P. LUNDGREN, C. STEIN, D. WIENS y D. WOODS (1988): A test of alternative Caribbean plate relative motion models. *Jour.Geophys.Res.*,73:3041-3050, (en Inglés).
- STEIN R.S. y YEATS, R.S. (1989): Hidden earthquakes. *Science*, 260:48-57, (en Inglés).
- SYEH K. (1978): Prehistoric large earthquakes produced by slip on the San Andreas fault and Pallet Creek, California. *Jour.Geophys.Res.*, 89:3907-3939, (en Inglés).
- SYKES L.R. y L. SEEBER (1985): Great earthquakes and great asperities, San Andreas fault, Southern California. *Geology*, 13:835-838, (en Inglés).
- TAKEUCHI H., S. UYDE y H. KANAMORI (1978): ¿Qué es la Tierra? Editorial A. Bosch, Barcelona.
- TAYLOR C.E., L.R. REAVELEY, C.W. TILMAN y A.R. PORUSH (1982): Seismic code decisions under risk: The Wasatch Front illustration. *Earthquake Spectra*, 8(1):35-55, (en Inglés).
- TIMOSHENKO S. y J.N. GOODIER (1951): *Theory of elasticity*. McGraw Hill, New York, (en Inglés).
- UDÍAS A. (1971): *Introducción a la sismología y estructura interna de la Tierra*. Editorial de la Universidad Complutense de Madrid.
- UDÍAS A. y E. BUFORN (1991): Regional stress along Eurasia - Africa plate boundary derived from focal mechanisms of large earthquakes. *Pure appl.geophys.*, 136:433-448, (en Inglés).
- UDIAS A. y D. MUÑOZ (1979): The Andalucian earthquake of 25 December 1884. *Tectonophysics*, 53:291-299, (en Inglés).
- UDÍAS A., E. BUFORN, D. BRILLINGER y B. BOLT (1982): Joint statistical determination of fault plane parameters. *Phys.Earth and Planet.Inter.*, 30:178-184, (en Inglés).
- UDÍAS A., A. LÓPEZ-ARROYO y J. MEZCUA (1976): Seismotectonic of the Azores - Alboran Region. *Tectonophysics*, 31:259-289, (en Inglés).
- UDÍAS A., D. MUÑOZ y E. BUFORN, Editores (1985): *Mecanismo focal de los terremotos y tectónica*. Editorial de la Universidad Complutense de Madrid.
- UNESCO (1980): *Terremotos – evaluación y mitigación de su peligrosidad*. Editorial Blume, Barcelona.
- U.S. *Geological Survey* (1988): Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andreas fault. Open-File Report, 88(398), 264 p., (en Inglés).
- VASSEUR G., A. ETCHECOPAR y H. PHILIP (1983): Stress state inferred from multiple focal mechanisms. *Annales Geophysicae*, 1:4-5 (en Inglés).
- VENING MEINESZ F.A. (1970): *La corteza y el manto terrestre*. Editorial Alhambra, Madrid.
- VENING MEINESZ F.A. (1964): *The Earth's crust and mantle*. 2 Vols. Elsevier Publishing Company, (en Inglés).
- WALLACE R.E. (1970): Earthquake recurrence intervals on the San Andreas fault. *Bull.Geol.Soc.Am.*, 81:2875-2890, (en Inglés).

- WELLS D.L. y K.J. COPPERSMITH (1994): New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 84:974-1002, (en Inglés).
- WESNOUSKY S.G., SCHOLZ C.H., SHIMAZAKI K. y MATSUDA T. (1983): Earthquake frequency distribution and the mechanics of faulting. *Jour.Geophys.Res.*, 88(B11):9331-9340, (en Inglés).
- WILLMORE P.L. (1979): Manual of seismological observatory practice. World Data Center for Solid-Earth Geophysics, Boulder, (en Inglés).
- WILSON J.T. (1974): Deriva continental y tectónica de placas. Editorial Blume, Barcelona.
- Working Group on California Earthquake Probabilities* (1995): Seismic hazards in Southern California: Probable earthquakes, 1994-2024. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 85, 2:379-439, (en Inglés).
- ZHIDKOV M.P. (1985): Morfoestructuras de las zonas de sistemas continentales - oceánicas del cinturón Pacífico en relación con el pronóstico de los lugares de fuertes terremotos (Kanchatka-occidente de Sudamérica). Resumen ampliado de la tesis de Candidatura en Geografía, Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de la U.R.S.S., Moscú 27 p., (en Ruso).
- ZHIDKOV M.P., I.M. ROTVAIN y A.M. SADOWSKII (1975): Pronóstico del lugar de posible ocurrencia de terremotos fuertes. IV. Intersecciones múltiples de lineamientos de la Meseta Armeniana, los Balkanes y la Cuenca del Mar Egeo. *Vichislitel'naya Seismologiya*, 8:53-70, (en Ruso).
- ZOBACK M.L. (1992): First -and second -order patters of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project. *Jour.Geophys.Res.*, 97:11703-11728, (en Inglés).
- ZOBACK M.L., y M.D. ZOBACK (1980): State of stress in the conterminous United States. *Jour.Geophys.Res.*, 85:6113-6156 (en Inglés).
- ZOBACK M.L., M.D. ZOBACK, J. ADAMS *et al.* (1989): Global patterns of tectonic stress. *Nature*, 341:291-298, (en Inglés).

## REFERENCIAS ADICIONALES

(Aquí se agrupan los trabajos principales de apoyo geológico – geomorfológico - tectónico – gravimétrico – geomagnético – geodésico)

- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA (1981): Levantamiento geológico de La Habana, escala 1:250.000. Instituto de Geología y Paleontología.
- ACADEMIAS DE CIENCIAS DE CUBA y BULGARIA (1981): Levantamiento geológico de Las Villas, escala 1:250.000. Instituto de Geología y Paleontología.
- ACADEMIAS DE CIENCIAS DE CUBA y BULGARIA (1981a): Levantamiento geológico de las provincias Ciego de Avila, Camagüey y Las Tunas, escala 1:250.000. Instituto de Geología y Paleontología.
- ACADEMIAS DE CIENCIAS DE CUBA y HUNGRÍA (1981): Levantamiento geológico de las provincias orientales, escala 1:250.000. Instituto de Geología y Paleontología.
- ACADEMIAS DE CIENCIAS DE CUBA y POLONIA (1978): Levantamiento geológico de Pinar del Río, escala 1:250.000. Instituto de Geología y Paleontología.
- ACADEMIAS DE CIENCIAS DE CUBA y POLONIA (1981): Levantamiento geológico de Matanzas, escala 1:250.000. Instituto de Geología y Paleontología.
- ALBEAR, J.F., V.I. MAKAROV, M.K. BAGUINIAN y B.P. Telguin (1982): Experiencias de utilización de las fotos cósmicas y aéreas multizonales en investigaciones geológicas en Cuba. *Issliedavanie Zemli y Kosmosa*, 2:27-40, (en Ruso).
- ÁLVAREZ H. (1992): Mecanismos tectónicos y desarrollo estructural de la Sierra de los Organos. *Revista Minería y Geología*, 1(1):11-18, Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
- ÁLVAREZ R. (1990): Investigaciones de la estructura espacio-temporal del campo geomagnético del archipiélago cubano. Tesis en opción al grado de candidato a doctor en ciencias físico-matemáticas. Academia de Ciencias de la URSS- Universidad Estatal de Leningrado, 200 p., (en Ruso)
- BELOUSOV T.P. y L. ORBERA L. (1986): Movimientos verticales del Cuaternario en Cuba Central. *Geotectonics*, 20(1):67-73, (en Ruso).
- BLANCO J. y J. PROENZA (1984): Terrenos tectónico – estratigráficos en Cuba oriental. *Revista Minería y Geología*, 11(3):11-18.
- BOUCHON M. (1980): The motion of the ground during an earthquake. The case of strike-slip fault. *Jour.Geophys.Res.*, 85:356-366, (en Inglés).
- BOVENKO V.G., B.E. SCHERBAKOVA y G. HERNÁNDEZ (1980): Nuevos datos sobre la estructura profunda de Cuba oriental. *Geología Soviética*, 9:101-109, (en Ruso).
- BOWIN C. (1968): Geophysical study of the Cayman trough. *Jour.Geophys.Res.*, 73:5159-5173, (en Inglés).
- BRODERMANN J. (1918): Cuba, país eminentemente pretolífero. *Heraldo Minero*, Número Extraordinario, La Habana.
- BRODERMANN J., J.F. de ALBEAR y A. ANDREU (1946): Croquis-geológico de Cuba, 1:1.000.000. Ed. Instituto Nacional de Hidrol.Climát.Méd., Sección de Geología., La Habana.
- BURKE K., J. GRIPPI y A.M.C. SENGOR (1980): Neogene structures in Jamaica and the tectonic style of the Northern Caribbean Boundary Zone. *Jour.Geophys.Res.*, 88(4):375-386, (en Inglés).
- BURKE K., C. COOPER, J.R. DEWEY, P. MANN y J.L. PENDELL (1984): Caribbean tectonics and relative plate motions in the Caribbean - South America

- Plate. (Boundary and Reg. Tectonics) *Open File of the Geol.Soc.Am.Mem.*, (en Inglés).
- BUSH W.A. e I.N. SCHERBAKOVA (1986): Nuevos datos sobre la tectónica profunda de Cuba oriental. *Geotektonika*, 3:24-43, (en Ruso).
- BUTTERLIN J. (1956): La constitution géologique et la structure des Antilles. *Ed. Comm.Nat.Rech.Sc.*, Paris, 456 p., (en Francés).
- BYRNE D.B., G. SUÁREZ y W.R. Mccann (1985): Muertos trough subduction-microplate tectonics in the northern Caribbean? *Nature*, 317:420-421, (en Inglés).
- CALAIS E. y B. MERCIER DE LÉPINAY (1991): From transtension to transpression along the northern Caribbean plate. *Tectonophysics*, 186:329-350, (en Inglés).
- CALAIS E. y B. MERCIER DE LÉPINAY (1990): A natural model of active transpressional tectonics: The echelon structures of the Oriente deep, along the northern Caribbean transcurrent plate boundary. *Rev.Inst.Fr.Pét.*, 45:147-160, (en Inglés).
- CALAIS E., J. PERROT y B. MERCIER DE LÉPINAY (1998): Strike-slip tectonics and seismicity along the northern Caribbean plate boundary from Cuba to Hispaniola. *Active strike-slip and collisional tectonics of Northern Caribbean Plate Boundary Zone*, vol. 326, 125-142. Editors: J.F. Dolan y P. Mann. *Geol.Soc.Am. Special Paper Boulder Colorado*, (en Inglés).
- CALMUS T. (1986): La frontera de las placas Norteamérica y Caribe. Estructuras principales y evolución Cenozoica. *Boletín del Departamento de Geología*, 3(1):19-37, Universidad de Sonora.
- CASE J. y T.L. HOLCOMBE (1980): Geologic-tectonic map of the Caribbean region. U.S. Geol.Surv.Misc.Invest.Series Map I-1100.
- CASE J., T.L. HOLCOMBE y R.G. MARTIN (1984): Map of geologic provinces in the Caribbean region. *Geol.Soc.Am.Mem.*, 162:1-31.
- CAYTROUGH (1979): Geological and geophysical investigations of the Mid-Cayman rise spreading center. Initial results and observations. Editors: M. Talwani; C.G. Harrison y D.E. Hayes. *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Ocean Crust. Maurice Ewing Ser.*, 2:66-93, (en Inglés).
- COBIELLA J. (1984): Sobre el origen del extremo oriental de la fosa de Bartlett. Editorial Oriente, Santiago de Cuba, 43 p.
- CORRAL I. (1944): Las terrazas pleistocénicas cubanas. *Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros*, 40:5-44.
- DARTON N.H. (1926): Geology of Guantanamo basin. *Jour.Acad.Sc.*, Vol. 16:324-333, Washington, (en Inglés).
- DEAN B.W. y C.L. DRAKE (1978): Focal mechanisms and tectonics of the Middle America arc. *J.Geology*, 86:111-128, (en Inglés).
- DE METS C. (2001): A new estimate for present – day Cocos – Caribbean plate motion: Implications for slip along the Central American volcanic arc. *Geophys.Res.Lett.*, 28:4043-4046, (en Inglés).
- DE METS C., R. GORDON, D. ARGUS y S. STEIN (1990): Current plate motions. *Geophys.J.R.Astron.Soc.*, 101:425-478, (en Inglés).
- DE METS C., P.E. JANSMA, G.S. MATTIOLI, T. DIXON, P. FARINA, R. BILHAM, E. CALAIS y P. MANN (2000): GPS geodetic constraints on Caribbean – North American Plate motion. *Geophys.Res.Letters*, 27:437-440, (en Inglés).
- DENG G. (1985): Mid-America tectonic setting for the Pacific margin from southern Mexico to northwestern Colombia. Editors: A.E.M.Nairn y F.G.Stheli. *The ocean basins and margins*, 7:123-180, (en Inglés).

- DENG J. y L.R. SYKES (1995): Determination of Euler pole for contemporary relative motion of the Caribbean and North American plates using slip vectors of interplate earthquakes. *Tectonics*, 14:39-53, (en Inglés).
- DÍAZ J.L., J.R. HERNÁNDEZ, A.R. MAGAZ, A.H. PORTELA y P. BLANCO (1989): Morfoestructuras. En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba, IV.3.1. (8).
- DÍAZ DUQUE J.A., P.A. AZGE, V.G. CASAREAL y V.O. DÍAZ (1989): Estudio de la estructura profunda de la provincia Pinar del Río a partir del campo gravimétrico. Informe Científico-Técnico, Universidad de Pinar del Río, 30 p.
- DILLON W.P., JR.J.A. AUSTIN, K.M. SCANLON, N.T. EDGAR y L.M. PARSON (1992): Accretionary margin of north-western Hispaniola: Morphology, structure and development of the northern Caribbean plate boundary. *Mar.Pet.Geol.*, 9:70-88, (en Inglés).
- DIXON T.H., F. FAINA, F. DE METS, P. MANN y E. CALAIS (1998): Relative motion between the Caribbean and North American plates and related boundary deformation from a decade of GPS observation. *Jour.Geophys.Res.*, 103:15157-15182, (en Inglés).
- DOLLAN J.F. y D.J. WALD (1994): Consequences of time-transgressive, oblique underthrusting of the southeastern Bahamas: Localization of large thrust earthquakes and controls on large-scale forearc subsidence event. *Geol.Soc.Am.*, Abstr.Program, 26:A-251, (en Inglés).
- DOLLAN J.F. y D.J. WALD (1994a): The Caribbean Sea floor. *Caribbean Geology: An Introduction*. UWI Publisher's Association, Kingston, 41-63, (en Inglés).
- DRAPER G. (1989): A revised tectonic model for the evolution of Jamaica. *Geol.Soc. of Jamaica. Special ISSUE. Proceedings of a Workshop of the Status of Jamaican Geology*, 151-169, (en Inglés).
- EDGAR N.T., J.I. EWING y J. HENNION (1971): Seismic refraction and reflection in the Caribbean Sea. *Am.Assoc.Petr.Geol.Bull.*, 55:833-870, (en Inglés).
- ERICKSON A.Y., C.E. HELSLEY y C. SIMMONS (1972): Heat flow and continuous seismic profiles in the Cayman Trough and Yucatan Basin. *Bull.Amer.Geol.Soc.*, 83:1241-1259, (en Inglés).
- ESPINOSA A.F., R. HUSID y A. QUESADA (1976): Intensity distribution and source parameters from field observations. Editor: A.F. Espinosa. *The Guatemala earthquake of february 4, 1976. A preliminary report*, (en Inglés).
- EWING J., J. ANTOINE y M. WING (1960): Geophysical measurements in the Western Caribbean Sea and the Gulf of Mexico. *Jour.Geophys.Res.*, 65:4087-4126, (en Inglés).
- FUNDORA M. (1982): Interpretación combinada de los materiales geofísicos a escala 1:100.000 en la región Habana-Matanzas. Tesis de candidato a doctor en ciencias geólogo-mineralógicas. Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Carolina Rep. de Checoslovaquia, 100 p.
- GONZÁLEZ E., C. CAÑETE, J.L. DÍAZ y R. CARRAL (1983): Esquema morfoestructural de Cuba, escala 1:250,000. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica de Cuba.
- GONZÁLEZ E., C. CAÑETE, J. DÍAZ, L. PÉREZ y M. COTILLA (1989): Esquema neotectónico de Cuba, escala 1:250,000. *Revista Serie Geológica*, 1:16-34. Centro Nacional de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo, Cuba.
- GUZMÁN – SPEZIALE M. (2001): Active seismic deformation in the grabens of northern Central America and its relationship to the relative motion of the North America – Caribbean plate boundary. *Tectonophysics*, 337:39-51, (en Inglés).

- HAYES C.W., T.W. VAUGHAN y A.C. SPENCER (1901): Report on a Geological Reconnaissance of Cuba. *Ed. Washington Gov.Print.*, Washington, (en Inglés).
- HERNÁNDEZ J.R., R. GONZÁLEZ y F. ARTEAGA (1989): Diferenciación estructuro-geomorfológica de la zona de sutura de la microplaca cubana con la placa Caribe. Editorial Academia, 48 p., La Habana.
- HERNÁNDEZ J.R., D.A. LILIENBERG y R. GONZÁLEZ (1986): Regionalización morfoestructural de la Sierra Maestra y de las depresiones circundantes. *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 12:36-48. Academia de Ciencias de Cuba.
- HERNÁNDEZ J., R. GONZÁLEZ, A. VENEREO y F. PÉREZ (1989a): Deformaciones tectónicas de las terrazas marinas de la Sierra Maestra. *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 15-16:115-130. Academia de Ciencias de Cuba.
- HERSEY J.B. y M.S. RUTSTEIN (1958): Reconnaissance survey of Oriente deep (Caribbean Sea) with a precision echo sounder. *Bull.Amer.Geol.Soc.*, 69:1297-1304, (en Inglés).
- HESS H.H. (1938): Gravity anomalies and island arc structure with particular reference to the West Indies. *Proc.Amer.Phil.Soc.*, 79:71-96, (en Inglés).
- HOLCOMBE T.L., P.R. VOGT y J.E. MATHEWS (1973): Evidence for sea-floor spreading in the Cayman trough. *Earth and Planet.Sci.Lett.*, 20(3):357-371, (en Inglés).
- HORSFIELD W.T. (1975): Quaternary vertical movements in the Greater Antilles. *Geol.Soc.Am.*, 86:933-938, (en Inglés).
- INSTITUTO GALLACH (1992): Diario de a bordo de Cristóbal Colón. Editorial Océano, Barcelona, 229 p.
- INSTITUTO DE GEODESIA Y CARTOGRAFÍA- Series de mapas topográficos de escalas 1:50.000-1:1.1000.000.
- ITURRALDE M. (1981): Nuevo modelo interpretativo de la evaluación geológica de Cuba. *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 3:51-89. Academia de Ciencias de Cuba.
- ITURRALDE M. (1977): Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo neoplátormico de Cuba. Informe científico - técnico, 20. Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- JAIN (1971): Geotectónica regional: América del Norte y América del Sur, Antártida y Africa. Editorial Nedra, 548 p., (en Ruso).
- JOHNSTON A.C. (1989): The seismicity of stable continental interiors. En: Earthquakes at North – Atlantic Passive Margins: Neotectonics and Postglacial Rebound, 299-397, S. Editors: Gregersen and P.W.Bashan, (en Inglés).
- JOHNSTON A.C. y E.S. SCHWEIG (1996): The enigma of the New Madrid earthquakes of 1811-1812. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 24:339-384 (en Inglés).
- JOHNSTON A.C. y L.R. KATE (1990): Earthquakes in stable continental crust. *Scientific American*, 3:68-75 (en Inglés).
- JORDAN T.H. (1976): The present-day motions of the Caribbean plate. *Jour.Gephys.Res.*, 80(32):4433-4439, (en Inglés).
- KARTASHOV I.P. (1981): El Antropógeno en Cuba. Editorial Nauka, 145 p., Moscú, (en Ruso).
- KARTASHOV I.P. (1976): La descripción de algunas formaciones geológicas del sistema Cuaternario de Cuba reconocidas recientemente. *Serie Geológica*, 26, 12p., Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.

- KARTASHOV I.P. y N. MAYO (1972): Algunos resultados del estudio de los depósitos continentales del Cuaternario de Cuba Oriental. *Serie Geológica*, 9, 10 p., Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- KELOG J., T. DIXON y R. NEILAN (1989): CASA: Central and South America GPS geodesy. *EOS, Trans.Am.Geophys. Union*, 70:649-656, (en Inglés).
- KENNET J. y J. DROMMOND (1981): Mapa de la tectónica de placas de la región del Caribe (según datos del mapa de la tectónica de placas de la región circumpacífica, cuadrante NW). Consejo Circumpacífico para la energía y yacimientos minerales, U.S.A.
- LADD J.W. (1976): Relative motion of South America with respect to North America and Caribbean. *Geol.Soc.Am.Bull.*, 87:969-976, (en Inglés).
- LeROY S.D. (1988): Treating the Gulf of Mexico a continental margin petroleum province. *The Leading Edge*, 209-212, (en Inglés).
- LEWIS J. y G. DRAPER (1990): Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean region. Editors: G. Deng y J. Case. *The Caribbean Region: The Geology of North America.Geol.Soc.Amer.*, Vol.H:77-140, (en Inglés).
- LEZCANO J.C. (1995): Aspectos esenciales sobre la mitigación de los desastres naturales en Cuba. *Cuba in Transition ASCE*, 399-406.
- LILIENBERG D.A. (1973): Algunos problemas de la formación del relieve del archipiélago cubano. *Serie Espeleología y Carsología*, 48, 12 p., Academia de Ciencias de Cuba.
- LINARES E., A.V. DOVBNIYA, P.G. OSADCHIY, C.M. JUDOLEY, S. GIL, D. GARCÍA, A. ZUAZO, G. FURRAZOLA, A. BRITO, Y.B. EVDOKIMOV, B.A. MARKOVSKIY, V.A. TROFIMOV, y A.L. VTULOCHKIN (1986): Mapa geológico de la República de Cuba, escala 1:500.000. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica.
- LUNGREM P.R. y R.M. RUSSO (1996): Finite element modelling of crustal deformation in the North America – Caribbean plate boundary zone. *Jour.Geophys. Res.*, 101:11317-11327, (en Inglés).
- MACDONALD W.D. (1976): Cretaceous - Tertiary evolution of the Caribbean. *Trans. 7th Caribbean Geol.Conf.*, Guadalupe, 69-81, (en Inglés).
- MACDONALD K.C. y T.L. HOLCOMBE (1978): Inversion of the magnetic anomalies and sea floor spreading in the Cayman trough. *Earth and Planet.Sci.Lett*, 40:407-414, (en Inglés).
- MANN P. y K. BURKE (1984): Neotectonics of the Caribbean. *Rev.Geophys.Space Phys.*, 22:309-362, (en Inglés).
- MANN P., F. TAYLOR, R. EDWARDS y TEH-LUNG KU (1995): Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults: An example from the northeastern Caribbean plate margin. *Tectonophysics*, 246:1-69, (en Inglés).
- MAUFFRET A. y S. LEROY (1997): Seismic stratigraphy and structure of the Caribbean igneous province. *Tectonophysics*, 283:61-104, (en Inglés).
- McCANN W.R. y L.R. SYKES (1984): Subduction of aseismic ridges beneath the Caribbean plate: implications for tectonics and seismic potential of the Northeastern Caribbean. *Jour.Geophys.Res.*, 89(8):4493-4519, (en Inglés).
- MINSTER J. y T. JORDAN (1978): Present day plate motions. *Jour.Geophys.Res.*, 83:5331-5334, (en Inglés).
- MOLNAR P. y L. SYKES (1969): Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanism and seismicity. *Bull.Geol.Soc.Amer.*, 80(9):1639-1684, (en Inglés).

- MOSSAKOVSKY A., YU. PUSHAROVSKI, G.E. NEKRASOV, S.R. SOKOLOV, F. FORMELL, R. CABRERA, M. ITURRALDE, *et al.* (1989): Mapa tectónico de Cuba, Escala 1:500.000. Instituto de Geología y Paleontología.
- OLIVA G. (1976): Criterios tectónico-estructurales de un área de la región occidental de Cuba en base a transformaciones lineales de los campos gravitatorio y magnético. Tesis de candidato a doctor en ciencias geólogo-mineralógicas. Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Carolina Rep. de Checoslovaquia, 100 p.
- OLIVA G. y J.L. PROL (1990): Mapa de las anomalías de Bouguer de Cuba. *Nuevo Atlas de Cuba*. Sección II.3.4 Características Geofísicas, Gravimetría. Madrid.
- PARDO M. (1993): Zonación gravi-magnética y modelo físico-geológico conceptual del cinturón orogénico cubano. Interpretación geólogo-tectónica. *Revista Minería y Geología*, 1:3-14, Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
- PÉREZ C., J. ORO, F. FORMELL, L. PÉREZ, V.G. TRIFONOV y G.V. MAKAROV (1985): Aplicación de la teledetección en el estudio de la Geología de Cuba. Tema 314.10, Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- PINO M., F. GARCÍA, A. CORDOVA e I. PÉREZ (1989): Mapas del desarrollo económico, escala 1:5.000.000. En: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Sección XXIV Historia y Revolución.
- PERFIT M.R. y B.C. HEEZEN (1978): The geology and evolution of the Cayman trench. *Bull.Amer.Geol.Soc.*, 89:1155-1174, (en Inglés).
- PITMAN III W.C. y M. TALWANI (1972): Sea-floor spreading in the North-Atlantic. *Geol.Soc.Am.Bull.*, 83:619-646, (en Inglés).
- PLAFKER G.M., M.G. BONILLA y S.B. BONIS (1976): Guatemalan earthquake of February 4, 1976, a preliminary report. *Geol. Effects., Geol.Surv.Profess.Pap.*, 1002:38-51, (en Inglés).
- POLLITZ F.F. y T.H. DIXON (1998): GPS measurements across the northern Caribbean plate boundary zone: Impact of postseismic relaxation following historic earthquakes. *Geophys.Res.Lett.*, 25:2.233-2.236, (en Inglés).
- PORTELA A., P. BLANCO, J. DÍAZ Y A. MAGAZ (1981): Alineamientos y estructuras circulares en la imagen cósmica del Landsat de la parte occidental de la provincia Pinar del Río. Informe del Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba.
- PRENTICE C.S., P. MANN, F.W. TAYLOR, G. BURR y S. VALASTRO (1993): Paleoseismicity of the North American-Caribbean plate boundary (Septentrional fault), Dominican Republic. *Geology*, 21:49-52, (en Inglés).
- PROL J. G. ARIAZA y R. OTERO (1993): Sobre la confección de los mapas de profundidad del basamento y espesor de la corteza terrestre en el territorio cubano. Informe Científico-Técnico de la Empresa Nacional de Geofísica, Ministerio de la Industria Básica, 36 p.
- PUBELLIER M., J.M. VILA y D. BOISON (1991): North Caribbean neotectonic events: The Trans-Haitian fault system. Tertiary record of an oblique transcurrent shear zone uplifted in Hispaniola. *Tectonophysics*, 194:217-236, (en Inglés).
- PUSHAROVSKY Yu., M.A. VTULOCHKIN M.A. y A. MOSSAKOVSKY (1987): Estructuras y tipos de corteza terrestre en Cuba. *Informes de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S.*, 294:178-182, (en Ruso).
- QUINTAS F. y M. BLANCO (1993): Paleogeografía de la cuenca San Luis y su importancia para la interpretación de la evaluación geológica de Cuba oriental. *Revista Minería y Geología*, 10(3):3-14.

- QUINTAS F., M. HERNÁNDEZ y M. CAMPOS (1994): Asociaciones estructuro-formacionales del Mesozoico en Cuba oriental y La Española. *Revista Minería y Geología*, 11:3-10, Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
- RIEDEL W. (1929): Zur mechanik geologischer brucherscheinungen. Nungen. *Centr.bl.Min.*, Abt. B., 354-368, (en Alemán).
- RODRÍGUEZ J. (1983): Interpretación de perfiles gravimétricos del Caribe y Cuba oriental. *Revista Minería y Geología*, 1:85-97, Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
- ROSENCRATZ E. y P. MANN (1991): SeaMARC II mapping of transform faults in the Cayman trough, Caribbean Sea. *Geology*, 19:690-693, (en Inglés).
- ROSENCRATZ E., E. ROSS y J. SCLATER (1988): Age and spreading history of the Cayman trough as determined from depth, heat flow and magnetic anomalies. *Jour.Geophys.Res.*, 93:2141-2157, (en Inglés).
- ROSS M.I. y CH.R. SCOTSE (1988): A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region. *Tectonophysics*, 155:139-168, (en Inglés).
- SAZCHINA N. (1969): Mapa gravimétrico de Cuba, escala 1:500.000. Publicación del MMCM (Cuba) y MINGEO (U.R.S.S.), Moscú-La Habana, 51 p.
- SHEIN V.S., S.S. IVANOV y S. KLESCHEV (1978): Tectónica de Cuba y su *shelf*. *Geología Soviética*, 2:104-199, (en Ruso).
- SHEIN V.S., R. TENREYRO y E. GARCIA (1985): Modelo de la constitución geológica profunda de Cuba. *Serie Geológica*, 1:78-88, Ministerio de la Industria Básica.
- SHEIN, V.S., K.A. KLISHOV, V.E. JAIN, G.E. DIKENSHTAIN, P.J. YPARRAGUIRRE y R. RODRÍGUEZ (1985a): Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica.
- SHEIN V.S., V.N. SMIRNOV, K.A. KLESHOV y L. ORBERA (1975): Esquema neotectónico de Cuba y su plataforma marina, escala 1:2.000.000. Ministerio de Geología y Geofísica de Cuba.
- SOLOVIEV K.S. (1962): Mapa aeromagnético de la República de Cuba. Informe Científico-Técnico del Instituto de Geología del Petróleo, 10 p. Fondo Geológico de Cuba.
- SOLOVIEV O.N., S.A. SKIDAN y A.P. PANKRATOV (1964): Comentarios sobre el mapa magnetométrico de Cuba. Instituto Cubano de Recursos Minerales, Departamento Científico de Geología, 2(2):5-23.
- SOLOVIEV O.N., S.A. SKIDAN, A.P. PANKRATOV y C.M. KHUDOLEY (1964a): Comentarios sobre el mapa gravimétrico de la isla de Cuba. Instituto Cubano de Recursos Minerales, Departamento Científico de Geología, vol. 2, no. 2:8-19.
- STEIN S., C. DEMETS, R.G. GORDON, J. BRODHOLT, D. ARGUS, J.F. ENGELN, P. LUNDGREN, C. STEIN, D.A. WEINS y D.F. WOODS (1988): A test of alternative Caribbean plate relative motion models. *Jour.Geophys.Res.*, 93:3041-3050, (en Inglés).
- SYKES L.R. y M. EWING (1965): The seismicity of the Caribbean region. *Jour.Geophys.Res.*, 70:5065-5074, (en Inglés).
- SYKES L., W. McCANN y A.L. KAFKA (1982): Motion of the Caribbean plate during last 7 million years and implications for earlier Cenozoic movements. *Jour.Geophys.Res.*, 87:10656-10676, (en Inglés).
- TABER S. (1934): Sierra Maestra of Cuba, part of the northern rim of the Bartlett trough. *Bull.Geol.Soc.Amer.*, 45:567-619, (en Inglés).

- TABER S. (1931): The structure of the Sierra Maestra near Santiago de Cuba. *Jour.Geol.*, Vol. XXXIX, 532-563, (en Inglés).
- TABER S. (1922): The seismic belt in the Greater Antilles. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 12 (4):199-219, (en Inglés).
- TABER S. (1922a): The great fault troughs of the Antilles. *Journal of Geology*, Vol. XXX, No.2, 89-114, (en Inglés).
- TABER S. (1920): Jamaica earthquakes and the Bartlett trough. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 10 (2):84-88, (en Inglés).
- TRIFONOV V.G., F. FORMELL F., J. ORO, C. PEREZ (1981): Mapa de los elementos estructurales de la provincia Pinar del Río. Informe Científico-Técnico del Instituto de Geología y Paleontología, 10 p. Academia de Ciencias de Cuba.
- TRIFONOV V.G., F. FORMELL, J. ORO y C. PEREZ (1981a): Mapa de los elementos estructurales de la provincia Oriente. Informe Científico-Técnico del Instituto de Geología y Paleontología, 12 p. Academia de Ciencias de Cuba.
- USHAKOV S.A., A.I. AVGAEV, YU.I. GALUSHKIN y E.P. DUBIKIN (1979): Ruptura de la isostasia de la litósfera de la región del Caribe y análisis geodinámico de su naturaleza. *Tectónica y Geodinámica de la Región del Caribe*. Editorial Nauka, Moscú, 63-77, (en Ruso).
- VAUGHAN T.W. y A.C. SPENCER (1901): Report on a geological reconnaissance of Cuba. Military Government Printing Office, Washington, 123 p., (en Inglés).
- WESTBROOK G.K., H.P. BOOT y J.H. PEACDOK (1973): Lesser Antilles subduction zone in the vicinity of Barbados. *Nature Physical Science*, 244:118-120, (en Inglés).
- WOODRING W.P. (1928): Tectonic features of the Caribbean region. *Proceedings of the Third Pan-Pacific Congress*, Tokyo, 401-431, (en Inglés).

## **REFERENCIAS**

## REFERENCIAS ESPECÍFICAS

(Aquí se agrupan los trabajos principales del campo sismológico de Cuba)

- ALCEDO A. de (1826): Tremblemens de terre. *Annales de Chimie et de Physique*, Tomo 33:402-413. París, (en Francés).
- ALCEDO A. de (1786): Diccionario geográfico histórico de las Indias Occidentales o América. 5 tomos, Madrid.
- ALCOVER Y BELTRÁN A.M. (1905): Historia de la villa de Sagua La Grande y su jurisdicción. Sagua La Grande, Cuba
- ARANGO E.D. (1996): Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las placas caribeña y norteamericana. Tesis de Maestría, México.
- ÁLVAREZ H. (1974): Some aspects of the earthquake occurrence to the southeast of Cuba. *Phys. Earth and Planetary Inter.*, 9(3):193-198, (en Inglés).
- ÁLVAREZ H. (1970): Intensidad sísmica en Cuba. *Atlas Nacional de Cuba*, p. 20. Academias de Ciencias de Cuba y de la URSS.
- ÁLVAREZ L. (1995): SACUDIDA, versión 2.0. Un programa para la estimación de la peligrosidad sísmica. Editorial Academia, 64 p., Academia de Ciencias de Cuba.
- ÁLVAREZ L. (1988): Peligrosidad sísmica de Cuba (I): Sacudibilidad sísmica de Santiago de Cuba. *Comunicaciones Sobre Geofísica y Astronomía*, 3, 13 p. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- ÁLVAREZ L. (1985): Sismicidad de Cuba Oriental. Tesis en opción al grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas. Instituto de Física de la Tierra, Academia de Ciencias de la URSS, 100 p., (en Ruso).
- ÁLVAREZ L. (1983): Estimación de la peligrosidad sísmica para la ciudad de Santiago de Cuba. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4:87-123. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- ÁLVAREZ H. y L. MENÉNDEZ (1969): Sismicidad de Cuba. *Fizika Zemli*, 1:74-78, (en Ruso).
- ÁLVAREZ L. y V.I. BUNÉ (1985): Estremecimientos sísmicos en el este de Cuba. *Fizika Zemli*, 10:3-12, (en Ruso).
- ÁLVAREZ L. y V.I. BUNÉ (1985a): A computer program for seismic hazard estimation. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on the Analysis and on Seismic Risk*. Liblice, Checoslovaquia, June 17-22. Editorial Academia, Praga, (en Inglés).
- ÁLVAREZ L. y V.I. BUNÉ (1977): Estimación de la peligrosidad sísmica para la región Suroriental de Cuba. *Noticias de la Academia de Ciencias de la URSS, Física de la Tierra*, 10:54-67, (en Ruso).
- ÁLVAREZ L. y T. CHUY (1985): Isoseismal model for Greater Antilles. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on the Analysis of Seismicity and on Seismic Risk*. Liblice Castle, Czechoslovakia, June 17-22. Editorial Academia, Praga, (en Inglés).
- ÁLVAREZ L. y M. COTILLA (1984): Mecanismo focal de los terremotos del arco del Caribe. *Resúmenes de la IV Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía*. Academia de Ciencias de Cuba.
- ÁLVAREZ L. y R. PICO (1994): Zonación sísmica en base a los períodos de recurrencia de las sacudidas. Resultados preliminares con el sistema PROGNOSIS. Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.

- ÁLVAREZ L., T. CHUY y M. COTILLA (1991): Peligrosidad sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del territorio nacional. *Revista Geofísica*, 35:125-150, Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- ÁLVAREZ L., M. COTILLA y T. CHUY (1990): Informe final del tema de investigación 430.03: Sismicidad de Cuba. Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 110 p.
- ÁLVAREZ L., M. COTILLA y T. CHUY (1988): Mapa de intensidades máximas de Cuba para períodos de recurrencia de 100 y 1.000 años por datos sismológicos, escala 1:2.000.000. *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. Sección Sismicidad II.3.3. Editado en España, Madrid.
- ÁLVAREZ L., M. COTILLA y M. SERRANO (1983): Ubicación de una red sismológica para las investigaciones de la Central Electronuclear del Norte de Holguín. Informe del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 20 p.
- ÁLVAREZ L., A.A. GODZIKOVSKAYA y T.G. RAUTIAN (1983): Sismicidad y riesgo sísmico de Cuba y las acuatorias adyacentes. *Investigación de la Sismicidad de las Zonas de Baja Actividad Sísmica (Cuba Central)*, 57-80. Moscú, Editorial Nauka, (en Ruso).
- ÁLVAREZ L., R.S. MIJAILOVA y T. CHUY (1993): Catálogo de los terremotos fuertes de la región  $16^{\circ}$ - $24^{\circ}$  LN y  $70^{\circ}$ - $86^{\circ}$  LW, desde el siglo XVI hasta 1988. Informe del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- ÁLVAREZ L., R. PICO y M. COTILLA (1995): Clasificación no supervisada por métodos lógico-combinatorios en problemas de zonación sísmica. *Reporte de Investigación*, 17 p., Instituto de Cibernética, Matemática y Física. Academia de Ciencias de Cuba.
- ÁLVAREZ L., T.G. RAUTIAN y T. CHUY (1983): Particularidades del campo macrosísmico y estimación de los datos macrosísmicos probables en el emplazamiento. *Investigación de la Sismicidad de las Zonas de Baja Actividad Sísmica (Cuba Central)*, 88-96. Moscú, Editorial Nauka, (en Ruso).
- ÁLVAREZ L., M. SERRANO y M. COTILLA (1988): Propuesta de una red de estaciones sismológicas para la Central Electronuclear de Juaraguá. Informe del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 15 p.
- ÁLVAREZ L., F. VACCARI y G.F. PANZA (1999): Deterministic seismic zoning of Eastern Cuba. *Pure appl.geophys.*, 156:469-486, (en Inglés).
- ÁLVAREZ L., T. CHUY, J. GARCÍA, B. MORENO, H. ÁLVAREZ, M. BLANCO, O. EXÓSITO, O. GONZÁLEZ y A.I. FERNÁNDEZ (1999): An earthquake catalogue of Cuba and neighbouring areas. *The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics*, Miramare – Trieste, 60 p., (en Inglés).
- ÁLVAREZ L., G.F. PANZA, F. VACCARI y B. GONZÁLEZ (2001): Modelling of seismic ground motion in Santiago de Cuba city from earthquakes in Oriente fault seismic zone. *Pure appl.geophys.*, 158:1763-1782, (en Inglés).
- ÁLVAREZ L., M. RUBIO, T. CHUY y M. COTILLA (1985): Informe final del tema de investigación 31001: Estudio de la sismicidad de la región Caribe y estimación preliminar de la peligrosidad sísmica en Cuba. 2 tomos, 500 p. Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- ÁLVAREZ L., J. RUIZ, T. CHUY, R. PICO y M. COTILLA (1994): Confección de mapas de magnitudes máximas de terremotos por técnicas de reconocimiento de patrones. El sistema PROGNOSIS aplicado a la región del Caribe - América Central. *Informática y Geociencias*. Editorial Academia, Cuba, 30 p.

- ÁLVAREZ L., M. SERRANO, M. RUBIO, T. CHUY, y B. GONZÁLEZ (1984): El terremoto del 19 de febrero de 1976. Pílon, región oriental de Cuba. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 5:5-60. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- ÁLVAREZ L., T. CHUY, G. RAUTIAN y A.A. GODZIKOVSKAYA (1978): Catálogo de los terremotos de Cuba y de la parte norte del Cinturón del Caribe. Informe Científico-Técnico, 85 p. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- ÁLVAREZ H., V.V. SHTEINBERG, P. BLANCO, *et al.* (1973): Condiciones sísmicas de la ciudad de Santiago de Cuba. *Fizika Zemli*, 5:81-86, (en Ruso).
- Archivo de la Capitanía General de Cuba. Provincias de Ultramar (fines del siglo XIX). Sección XI, Papeles de Cuba.
- Archivo de Indias. Sección Cuba. Sevilla, España.
- BABAEV A., V. TOKARIOV, L. LYSKOV y L. ORBERA (1989): Informe de las investigaciones geólogo - tectónicas del territorio de Cuba Oriental y de la región de emplazamiento de las áreas Nos. 2 y 10 de la CEN Holguín. Tomo 1, Libro 3, Parte 1/1. Fondos de la UPI-CEN, Holguín, Ministerio de la Industria Básica de Cuba.
- BACARDI E. (1925): Crónicas de Santiago de Cuba. Reimpresión, Santiago de Cuba, Cuba.
- BELOUSOV T.P., V.N. KRESTNIKOV y N.V. SHEBALIN (1983): Delimitación de zonas sismogeneradoras en Cuba Central y estimación de su magnitud máxima. *Investigación de la Sismicidad de las Zonas de Baja Actividad Sísmica (Cuba Central)*, 81-85. Moscú, Editorial Nauka, (en Ruso).
- BOTHINO L.C. (1878): Calendario histórico de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba, Cuba.
- BOVENKO V.G., B.E. SCHERBAKOVA y G. HERNÁNDEZ (1980): Nuevos datos sobre la estructura profunda de Cuba oriental. *Geología Soviética*, 9:101-109, (en Ruso).
- BUSH W.A. e I.N. SCHERBAKOVA (1986): Nuevos datos sobre la tectónica profunda de Cuba oriental. *Geotektonika*, 3:24-43, (en Ruso).
- BUZNEVY E.M. (1969): Informe sobre las investigaciones sísmicas marinas realizadas en los años 1966-1967 en la plataforma insular de Cuba y en la región de aguas profundas adyacentes, por la expedición soviética del barco "V. Obruchev", y las conclusiones geológicas. Dirección del Petróleo del Ministerio de Minería, Combustibles y Metalurgia, República de Cuba e Instituto de Geología y Geofísica Marina de la URSS.
- CALCAGNO F. (1878): Diccionario biográfico cubano. Imprenta y Librería de N. Ponce de León, New York.
- CÁRDENAS H. (1945): Estudio de las principales fallas de Cuba y de sus consecuencias más importantes. Influencias sismogénicas extraterrestres. Editorial Lex, La Habana, 66 p.
- CASTELLANOS G. (1934): Panorama histórico, ensayo de una cronología cubana desde 1492 hasta 1933. La Habana.
- Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (1992): Informe del sismo del 25.05.1992 en Cabo Cruz. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 10p.

- CHUY T. (1980): Régimen sísmico de la región suroriental de Cuba. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 1:58-68. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T. (1982): Actividad sísmica de la provincia Holguín. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 2:20-45. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T. (1988): Isosistas de terremotos de Cuba. *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Sección Características Geofísicas, II.3.2. Editado en España, Madrid.
- CHUY T. (1988a): Influencia de las condiciones geológicas en la intensidad sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba. *Movimientos Tectónicos Recientes en Cuba*, 2:43-63. Instituto de Geodesia y Cartografía.
- CHUY T. (1999): Peligrosidad sísmica y desarrollo socioeconómico de la región de las Antillas Mayores. *Revista Minería y Geología*, 15(3):53-57, Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
- CHUY T. (1999a): Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, Santiago de Cuba.
- CHUY T. y L. ÁLVAREZ (1995): Zonación sísmica de Cuba con fines de la norma sismorresistente cubana. Informe del Centro de Investigaciones Sismológicas de Cuba, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 23 p.
- CHUY T. y M. COTILLA (1988): Sismos perceptibles en Cuba, período 1985-1986. *Revista Movimientos Tectónicos Recientes*, 2, 16 p., Instituto de Geodesia y Cartografía, La Habana.
- CHUY T. y B. GONZÁLEZ (1980): Catálogo macrosísmico de la región Occidental de Cuba. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 1:18-32. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T. y O. PINO (1982): Datos macrosísmicos de los terremotos en la provincia Santiago de Cuba. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 2:46-136. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T. y M. RODRÍGUEZ (1980): La actividad sísmica en Cuba basada en datos históricos. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 1:5-17. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T., R.U. DZHURAEV, L. ÁLVAREZ, H. ÁLVAREZ, y K.M. MIRZOEV (1988): Informe técnico de las investigaciones macrosísmicas en el territorio de Cuba Oriental y en la región de emplazamiento Nos. 2 y 10 de la CEN de Holguín. Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T., B. GONZÁLEZ, B. y L. ÁLVAREZ (1983): Sobre la peligrosidad sísmica en Cuba. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4:37-52. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T., B. GONZÁLEZ y S. ESCALONA (1980): Información macrosísmica de las provincias de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spíritus. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 1:33-57. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T., B. GONZÁLEZ B. y B. POLO (1984): Estimación preliminar de la peligrosidad sísmica de la región Occidental de Cuba. *Resúmenes de la IV Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía*, Academia de Ciencias de Cuba, 79-80.

- CHUY T., B. GONZÁLEZ y B. POLO (1988a): Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica de la región Occidental de Cuba. *Comunicaciones Sobre Geofísica y Astronomía*, 4, 21 p. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T., B. GONZÁLEZ y L. ORBERA (1994): Seismicity and seismic hazard assessment for western Cuba. *Revista Minería y Geología*, 11(3):45-51, Instituto Minero Metalúrgico de Moa, (en Inglés).
- CHUY T., B. GONZÁLEZ y E. VOROBIOVA (1984a): Sismicidad del territorio de las provincias de Camagüey y Ciego de Avila, Cuba. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 5:61-94. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T., E. VOROBIOVA, B. GONZÁLEZ, L. ÁLVAREZ, E. PÉREZ, M. SERRANO, M. COTILLA y O. PORTUONDO (1983a): El sismo del 16 de diciembre de 1982. Torriente-Jagüey Grande. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 3, 43 p. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- CHUY T., A. ZAPATA y M. RUBIO (1999): Isosistas del terremoto del 20 de agosto de 1852. *Atlas de la provincia Santiago de Cuba*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba.
- Comisión *Ad Hoc* (1991): Dictamen de la comisión Ad-hoc para la determinación de las zonas sismogeneradoras de la región oriental de Cuba y sus zonas adyacentes. Fondos del Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 6 p.
- CORTÉS J.D. (1875): Diccionario biográfico americano. Tipografía Lahure, París.
- COTILLA M. (2001): Regularidades sismogénéticas de la Unidad Neotectónica Occidental de Cuba. *Revista Geológica de Chile*, 28(19):3-24.
- COTILLA M. (1999): La ciencia sismológica en Cuba (I). Consideraciones principales. *Revista Historia de América*, 124:29-54. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- COTILLA M. (1999a): Apuntes necesarios acerca de los acontecimientos sismológicos en Cuba. *Anales de Geografía*, Universidad Complutense de Madrid, 19:71-93.
- COTILLA M. (1998): Sismicidad y sismotectónica de Cuba. *Revista Física de la Tierra*, 10:53-86. Editores: E.Buforn y A.Udías. Servicios de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid.
- COTILLA M. (1998a): An overview on the seismicity of Cuba. *Journal of Seismology*, 2:323-335, (en Inglés).
- COTILLA, M. (1998b): Terremotos de Cuba. *GEOS*, 18(3):180-188.
- COTILLA M. (1998c): Una revisión de los estudios sismotectónicos en Cuba. *Estudios Geológicos*, 54:129-145.
- COTILLA M. (1998d): El controvertido alineamiento Habana-Matanzas, Cuba. *Estudios Geológicos*, 55:67-88.
- COTILLA M. (1995): José Martí, la sismología y los terremotos en zonas estables. *Revista Historia de América*, 119:35-47. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- COTILLA M. (1995a): El sismo del 09.03.1995 en Ganuza, San José de las Lajas. Informe del Instituto de Geofísica y Astronomía. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 10 p.
- COTILLA M. (1995b): Diccionario sismológico. Departamento de Geofísica del Interior, Instituto de Geofísica y Astronomía. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 300 p.

- COTILLA M. (1993): Una caracterización sismotectónica de Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geográficas (especialidad geofísica). Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba. 200 p.
- COTILLA M. (1990): Mapa neotectónico de Cuba Oriental. *Atlas de Santiago de Cuba*, Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA M. (1990a): Mapa sismotectónico de Cuba Oriental. *Atlas de Santiago de Cuba*, Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA M. (1990b): Mapa de alineamientos y nudos tectónicos. *Atlas de Santiago de Cuba*, Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA M. (1989): Mapa de alineamientos y nudos tectónicos activos de la región centro oriental. *Atlas de Camagüey*, Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA M. (1987): Propuesta de una nueva red de estaciones sismológicas. Informe científico - técnico del Instituto de Geofísica y Astronomía, 20 p.
- COTILLA M. y A. UDÍAS (2000): El terremoto del 11 de junio de 1766 en Santiago de Cuba. *Revista Geofísica*, 52-53:5-26. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- COTILLA M y L. ÁLVAREZ (1999): Mapa de zonas sismogeneradoras en Cuba. *Geología Colombiana*, 23:97-106.
- COTILLA M. y H.J. FRANZKE (1999): Validación del mapa sismotectónico de Cuba. *Boletín Geológico y Minero*, 110(5):573-580.
- COTILLA M. y A. UDÍAS (1999): La ciencia sismológica en Cuba (II). Algunos terremotos históricos. *Revista Historia de América*, 125:46-90. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- COTILLA M. y A. UDÍAS (1999a): Geodinámica del límite Caribe-Norteamérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(2):175-186.
- COTILLA M. y L. ÁLVAREZ (1998): Esquema de regionalización del potencial de amenaza geológica en Cuba. *Revista Geofísica*, 9:47-86. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- COTILLA M. y L. ÁLVAREZ (1991): Principios del mapa sismotectónico de Cuba. *Revista Geofísica*, 35:113-124. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- COTILLA M. y L. ÁLVAREZ (1991a): Mapas de zonas de origen de terremotos de Cuba oriental. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA M. y L. ÁLVAREZ (1991b): Mapas de zonas de sismogeneradoras de Cuba oriental, Jamaica y La Española. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA M. y H.J. FRANZKE (1994): Some comments on the seismotectonic activity of Cuba. *Z. Geol. Wiss.*, 22(¾):347-352, (en Inglés).
- COTILLA M., L. ÁLVAREZ y M. SERRANO (1996): Monografía sobre la historia de la Sismología en Cuba. Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía, Ministerio de ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 200 p.
- COTILLA M., L. ÁLVAREZ y M. RUBIO (1997): Sismicidad de tipo intermedia en Cuba. *Revista Geología Colombiana*, 22:35-40.
- COTILLA M., T. CHUY y F. ARTEAGA (1987): Criterios morfoestructurales sobre la microrregionalización sísmica de Santiago de Cuba. *Revista Movimientos Recientes*, 2, 8 p. Instituto de Geodesia y Cartografía.
- COTILLA M., W. KORIN y E. MARTÍN (1992): Diccionario sismotectónico automatizado. *Revista de Estudios de Comunicación*. Academia de Ciencias de Cuba.

- COTILLA M., M. RUBIO, L. ÁLVAREZ y G. GRÜNTAL (1997a): Potenciales sísmicos del sector Centro-Occidental del arco de las Antillas Mayores. *Revista Geofísica*, 46:129-150. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- COTILLA M., C. CAÑETE, J.L. DÍAZ y R. CARRAL (1992): Evaluación de las mejores localidades para los emplazamientos nucleares en Cuba Centro-Oriental. Fondos del Centro de Investigaciones Sismológicas, Academia de Ciencias de Cuba, 30 p.
- COTILLA M., L. ÁLVAREZ, T. CHUY y O. PORTUONDO (1988): Peligrosidad sísmica de Cuba (2). Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica en zonas de baja actividad del territorio de Cuba. *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, 2, 19 p. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA M., P. BANKWITZ, L. ÁLVAREZ, H.-J. FRANZKE, M.F. RUBIO y J. PILARSKI (1998): Cinemática neotectónica de Cuba oriental. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 11(1-2):33-42.
- COTILLA M., H.-J. FRANZKE, J. PILARSKI, O. PORTUONDO, M. PILARSKI y L. ÁLVAREZ (1991): Mapa de alineamientos y nudos tectónicos principales de Cuba, a escala 1:1.000.000. *Revista Geofísica*, 35:53-112. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- COTILLA M., P. BANKWITZ, H.J. FRANZKE, L. ÁLVAREZ, E. GONZÁLEZ, J.L. DÍAZ, G. GRÜNTAL, J. PILARSKI y F. ARTEAGA (1991a): Mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, 23, 35 p. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA M., E. GONZÁLEZ, H.J. FRANZKE, J.L. COMESAÑAS, J. ORO, F. ARTEAGA, F. y L. ÁLVAREZ, L. (1991b): Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, 22, 60 p. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA M., P. BANKWITZ, H.-J. FRANZKE, L. ÁLVAREZ, E. GONZÁLEZ, J. PILARSKI, J.L. DÍAZ y F. ARTEAGA (1996a): Una valoración sismotectónica de Cuba. *Revista Geofísica*, 45:113-179. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- COTILLA M., G. MILLÁN, L. ÁLVAREZ, D. GONZÁLEZ, D., M. PACHECO y F. ARTEAGA (1993): Elementos del esquema neotectogénico de Cuba. Informe Científico-Técnico del Departamento de Geofísica del Interior, 100 p. Instituto de Geofísica y Astronomía.
- CRUZ C. (1958): Temblores y terremotos. Santiago de Cuba, Cuba.
- CUEVAS J.L. (1994): Caracterización de las anomalías gravimétricas en Cuba centro oriental y su utilización en estudios de tectónica y sismicidad. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Instituto de Geofísica y Astronomía, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 200 p.
- CUEVAS J.L. (1998): Estudios sobre la isostasia en Cuba: Una caracterización y delimitación de zonas potencialmente sísmicas. *Boletín Geológico y Minero*, 109:265-278.
- Departamento de Sismología (1990): Informe científico - técnico del terremoto de Cabo Cruz, 1990. Academia de Ciencias de Cuba.
- DÍAZ J.L. (1985): Morfoestructura de Cuba occidental y su dinámica. Tesis de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas. Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de la URSS, 200 p., (en Ruso).

- DÍAZ J.L. y D.A. LILIENBERG (1989): Nuevos datos sobre los movimientos tectónicos recientes en Cuba occidental. Informe Científico-Técnico, 4, 11 p. Instituto de Geografía. Academia de Ciencias de Cuba.
- DUQUE DE ESTRADA E. (1933): Observaciones sobre el Informe emitido por la Sociedad Cubana de Ingenieros referente al terremoto que el día 3 de febrero de 1932 destruyó los edificios de la ciudad de Santiago de Cuba. *Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros de Cuba*, 25(2):261-267.
- EDO Y LLOPIS E. (1888): Memoria histórica de Cienfuegos y su jurisdicción. Cienfuegos, Cuba.
- EMMA S.V., BELOUSOV T.P., MARQUEZ M.E., RUEDA J.S. y JORGE G.D. (1997): Movimientos recientes y patrón morfoestructural de Cuba suroriental: Polígono geodinámico de Santiago de Cuba. *Izvest.Phys. Earth.*, 1:55-69, (en Ruso).
- ERSHOV I.A., E.V. POPOVA, M. RUBIO y T. CHUY (1983): Microzonación sísmica en el lugar de construcción de la Central Electronuclear de Cienfuegos. *Investigaciones de la Sismicidad de las Zonas de Baja Actividad Sísmica (Cuba Central)*. Editorial Nauka, Moscú, 105-112, (en Ruso).
- ESTORCH M. (1853): Segunda parte de los apuntes para la historia sobre los sucesos que tuvieron lugar en Santiago de Cuba desde mediados de septiembre de 1852 hasta el 31 de diciembre de ese mismo año. 22 p., La Habana.
- ESTORCH M. (1852): Apuntes para la historia sobre el terremoto que tuvo lugar en Santiago de Cuba y otros puntos el 20 de agosto de 1852 y temblores subsiguientes. La Habana y Santiago de Cuba, Cuba.
- FERNÁNDEZ B., Z.C. RIVERA, C.R. REYES y J.A. ZAPATA (2000): Los fenómenos geológicos secundarios en la ciudad de Santiago de Cuba. *Revista Minería y Geología*, 27(2):11-13, Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
- FIELDING H. y S. TABER (1919): The Porto Rico earthquakes of October – November 1918. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 9 (4):95-127, (en Inglés).
- FORMENT C.E. 1953. Crónicas de Santiago de Cuba. Continuación de la Obra de Don Emilio Bacardí. Santiago de Cuba, Cuba.
- GARCÍA J. (1999): Seismic hazard assessment for Cuba and surrounding area. *Report of visiting researcher under TRIL Program at Observatorio Geofísico Sperimentale*, Trieste, Italy, 60 p.p., (en Inglés).
- GARCÍA J. y M. RODRÍGUEZ (1994): Empleo de la geoestadística para el trazado de las isosistas. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba.
- GONZÁLEZ B. (1991): Estimación del efecto sísmico en la ciudad de Santiago de Cuba. Tesis en opción al grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físicas, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- GONZÁLEZ B. y T. CHUY (1983): Actividad sísmica de la Provincia Pinar del Río. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4:53-68. Instituto de Geofísica y Astronomía. Academia de Ciencias de Cuba.
- GONZÁLEZ B., L. ÁLVAREZ, M. SERRANO, J. GARCÍA, V. RODRÍGUEZ, L. PÉREZ, L. y E. FERNÁNDEZ (1995): Informe científico-técnico del 9 de marzo de 1995. Ganuza, municipio San José de las Lajas. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Filial Occidental. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 13 p.
- GONZÁLEZ B., T. CHUY, L. ÁLVAREZ, M. RUBIO, *et al.* (1994): Estudio sismológico regional complejo de Cuba Centro Oriental para el emplazamiento de objetivos nucleares. Informe científico-técnico del Centro Nacional de

- Investigaciones Sismológicas, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 90 p.
- GONZÁLEZ B.E., K.M. MIRZOEV, T. CHUY, V.M. GOLUBIATNIKOV, L.M. LYSKOV, A. ZAPATA, A. y H. ÁLVAREZ (1989): Microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba. *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, 15, 24 p. Instituto de Geofísica y Astronomía. Academia de Ciencias de Cuba.
- GRASES J. (1990): Terremotos destructores del Caribe (1502-1990). UNESCO-RELACIS, Caracas, 132 p.
- GRASES J. (1971): La sismicidad histórica del Caribe. Documentos de Trabajo. Informe que presenta a la Junta Directiva del Comité Conjunto del Concreto Armado. Octubre, Caracas – Venezuela.
- GUASCH F., B. AVICH y E. ARANGO (1994): Influencia de las condiciones ingeniero-geológicas de la localidad de Pílon en la respuesta estructural de las edificaciones. *Revista Minería y Geología*, 11(3):39-44, Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
- GUARDADO L. (1995): Estudio ingeniero-geológico de la ciudad de Santiago de Cuba como base para la regionalización ingeniero-geológica. *Revista Minería y Geología*, 13(1):3-8, Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
- GUTIÉRREZ-LANZA M. (1914): Conferencias de sismología pronunciadas en la Real Academia de Ciencias de La Habana. Editorial Imprenta y Librería de Lloredo y Cña., La Habana, 178 p.
- GUTIÉRREZ LANZA M. (1910): Puntos de vista sobre los terremotos. Trabajo al IV Congreso Científico, Vol. V, Santiago de Chile.
- GUITIS V.G., L. ÁLVAREZ, T. CHUY y M. COTILLA (1992): Magnitudes máximas de los terremotos en la regionalización del Caribe determinadas con el sistema de experto GEO. *Revista Reconocimiento de Elementos de Estructuras Espaciales*, 1:40-52. Instituto de Cibernética y Física e Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- GUITIS V.G., L. ÁLVAREZ, T. CHUY y M. COTILLA, V.I. MAKAROV y YU.K. SCHUKIN (1992a): Estimation and analysis Mmax of the earthquakes of Caribbean and Middle America region with the help of GEO expert system. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk*. Bechine Castle, Czechoslovaquia, 4-9 September, (en Inglés).
- HERNÁNDEZ J.R., D.A. LILIENBERG y R. GONZÁLEZ (1990a): Principales nudos morfoestructurales de Cuba suroriental. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 17:68-76, Academia de Ciencias de Cuba.
- HERNÁNDEZ J.R., J.L. DÍAZ, A. MAGAZ y A. PORTELA (1990): Principales tipos morfoesturo-geodinámicos de las zonas sismogeneradoras del territorio provincial de Guantánamo, Cuba. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 18-19:24-32, Academia de Ciencias de Cuba.
- HERNÁNDEZ J.R., J.L. DÍAZ, A. MAGAZ, R. GONZÁLEZ, A. PORTELA y F. ARTEAGA (1991): Criterios geomorfológicos para la clasificación morfotectónica de Cuba oriental. *Morfotectónica de Cuba Oriental*. Cap. II, 10-18. Editorial Academia.
- HEREDIA N., G. SEISDEDOS y R. OLIVA (1982): Regionalización ingeniero-geológica de la cuenca de Santiago de Cuba a escala 1:25.000. Informe del ISPJAM. Ministerio de Educación Superior, Santiago de Cuba, Cuba.

- HERRERA D. (1847): Temporales, huracanes, tormentas y terremotos que ha habido en esta Isla de Cuba. *Memoria sobre los huracanes en la Isla de Cuba*, La Habana, 46-63.
- HEUBECK CH. y P. MANN (1990): Geologic evaluation of plate kinematic models for the Northamerican-Caribbean plate boundary zone. *Tectonophysics*, 191:1-126, (en Inglés).
- Informe sobre los trabajos geofísicos complejos regionales y de prospección en las aguas profundas del *shelf* en 1986, por la expedición soviética del barco "Académico Golitzin". Fondos del Archivo Geológico Nacional, Ministerio de la Industria Básica de Cuba.
- ISC (1969/1998): International Seismological Center. Regional catalogue of earthquakes, 1964-1995. Edinburg-Newbury, Scotland, (en Inglés).
- ISS (1918/1970): International Seismological Summary, 1912-1963. Surrey, Kew Observatory, (en Inglés).
- JOVER J. (1917): Sismología de la región oriental de la República de Cuba. El macrosismo del 27 de febrero de 1914. *Memorias de la Sociedad de Historia Natural "Felipe Poey"*, Vol. II, La Habana.
- KRESTNIKOV V.N., V.M. FREND y V. SHEBALIN (1983): Sobre la metodología de las investigaciones geológicas y sismológicas para la estimación de la peligrosidad sísmica. *Investigaciones de la Sismicidad de las Zonas de Baja Actividad Sísmica (Cuba Central)*. Editorial Nauka, Moscú, 81-85, (en Ruso).
- LANDER J.F., L.S. WHITESIDE y P.A. LOCKRIDGE (2002): A brief history of tsunamis in the Caribbean Sea. *Science of Tsunami Hazards*, 20(2):57-94, (en Inglés).
- LÓPEZ G., F. RUIZ y M. SERRANO (1988): Requerimientos para el desarrollo de una red sismotelemétrica en la ciudad de Santiago de Cuba. Informe del Instituto de Geofísica y Astronomía, 13 p., Academia de Ciencias de Cuba.
- MALLET R. (1852-1854): Catalogue chronologique des secousses de la terre ressenties sur la surface entière du globe. *Reports of the British Association*, Londres, (en Francés).
- MALLET R. (1854): Catalogue of recorded earthquakes from 1606 B.C. to A.D. 1850. Part II, 1755 A.D. to 1784 A.D. Report of the 22<sup>nd</sup> Meeting of the British Association for the Advancement of Science. Held in Hull, September 1853, John Murray, London, 118-212, (en Inglés).
- MARTÍNEZ - FORTÚN J.A. (1942): Historia de Placetas. 208 p., Caibarién, Cuba.
- MARTÍNEZ - FORTÚN J.A. (1946): Homenaje al pueblo y ayuntamiento de Zulueta. 78 p., Caibarién, Cuba.
- MARTÍNEZ - FORTÚN J.A. (1948): Meteorología histórica cubana. 58 p., Caibarién, Cuba.
- MARTÍNEZ - FORTÚN J.A. (1958): Anales y efemérides de San Juan de los Remedios y su jurisdicción. 110 p., Remedios, Cuba.
- MARQUEZ M.E., T. CHUY, M. COTILLA, J. RUEDA y A. VENEREO (1988): Algunos resultados de las investigaciones geofísicas complejas en el polígono geodinámico de Santiago de Cuba. *Revista Movimientos Tectónicos Recientes en Cuba*, 2, 15 p., Instituto de Geodesia y Cartografía.
- Ministerio de la Industria Básica (1989): Investigaciones complejas para la ubicación de una central electronuclear en la provincia Holguín. Tomo1: Trabajos sismológicos. Libro 9, parte 2: Informe sobre los materiales del procesamiento de la red de estaciones sismológicas.

- MIRZOEV K.M., A. BABAEV, B. GONZÁLEZ, H. ÁLVAREZ, T. CHUY, *et al.* (1989): Información de la peligrosidad sísmica de Cuba Oriental. Central Electronuclear de Holguín, Tomo I, vol. 9. Investigaciones Sismológicas. Ministerio de la Industria Básica de Cuba.
- MONTEULIEU E. (1968): Notas y apuntes acerca de terremotos ocurridos en Cuba. Inédito. Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- MONTELIEU E. (1947): Aspecto geográfico del macrosismo sentido el 15 de agosto de 1939 en la región Central de Cuba. *Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros*, 20(1-2), La Habana.
- MONTELIEU E. (1933): Informe de la Comisión nombrada para el estudio del terremoto de Santiago de Cuba de febrero de 1932. *Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros*, 23(5):264-308, La Habana.
- MONTELIEU E. (1932): Sismología mundial en 1931 y notas sobre el terremoto de Santiago de Cuba de 3 febrero 34 de 1932. *Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros*, 25(3), La Habana.
- MONTELIEU E. (1932a): El megasismo de Santiago de Cuba del 3 de febrero de 1932 bajo la luz de la Sismología Moderna, La Habana, 100 p.
- MONTELIEU E. (1931): Sismología de Cuba. Informe para el Censo de la República de Cuba del año 1931. La Habana, 85 p.
- MONTESUS DE BALLORE F. (1924): La géologie sismologique: Les tremblements de terre. Paris. Editor: Armand Colin., 488 p., (en Francés).
- MONTESSUS DE BALLORE F. (1906): Les tremblements de terre: Geographie sismologique. Editor: Colin, Paris, 488 p., (en Francés).
- MORALES Y PEDROSO L. (1933): El terremoto de Santiago de Cuba de 3 de febrero de 1932. *Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros*, 25(2):123-166. La Habana.
- MORALES Y PEDROSO L. (1931): Los terremotos en Cuba. *Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros*, 23(5), septiembre – octubre. La Habana.
- MOREAUS DE JONNES (1829): Dates exactes des tremblements de terre des Antilles. *Comuniqués en 1826 à l'Academie des Sciences. Bull. de Férussac, des Sc.Nat.*, Tomo XVII, 195 p., (en Francés).
- MOREAUS DE JONNES (1822): Tableau chronologique des tremblements de terre des Antilles. *Historie Physique des Antilles Francaises*, Paris. Tomo I, 110-115, (en Francés).
- MORENO TOIRÁN B. (2003): The crustal structure of Cuba derived from receiver function analysis. *J.of Seismology*, 7:359-375 (en Inglés).
- MORENO TOIRÁN B. (2002): The new cuban seismograph network. *Seismological Research Letters*, 73(4):504-57, (en Inglés).
- MORENO B., GRANDISON M. y ATAKAN K. (2002): Crustal velocity model along the southern Cuban margin: implications for the tectonic regime at an active plate boundary. *Geophys.J.Int.*, 151:632-645, (en Inglés).
- NEWMANN F. (1932): Travel time curves of the Santiago Earthquakes. *Earthquake Notes*, (en Inglés).
- Norma Cubana (1999): Propuesta de una nueva norma cubana sismorresistente. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 110 p.
- Obras Completas de José Martí. Editorial de Ciencias Sociales. Instituto Cubano del Libro, La Habana. Vol. 11, 64-76, 1975.

- ORBERA L. (1985): Neotectónica de Cuba oriental. Tesis en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geólogo-Mineralógicas. Moscú, Instituto de Física de la Tierra, Academia de Ciencias de la U.R.S.S., 150 p., (en Ruso).
- ORBERA L. (1983): Estudio sismotectónico de la región Occidental. Fondos de la Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica, 62 p. Ministerio de la Industria Básica de Cuba.
- ORBERA L. (1980): Informe sobre las condiciones sismotectónicas de las provincias orientales para la ubicación de la Central Electronuclear del Norte de Holguín. Fondos de la Empresa Integral de Proyectos para la Industria Básica, 55 p. Ministerio de la Industria Básica de Cuba.
- ORBERA L., B. GONZÁLEZ, T. CHUY y J. ORO (1990): Investigaciones sísmicas en la región de emplazamiento del Centro de Investigaciones Nucleares. Vol. 1. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares de Cuba, 344 p., Academia de Ciencias de Cuba
- ORBERA L., R. RAMÍREZ, M. LÓPEZ, A. ARIAS, M.C. MARQUETTI y R. CRESPO (1987): Las investigaciones sismotectónicas y la estabilidad de las construcciones energéticas en Cuba. *Resúmenes Primer Congreso Internacional sobre Desastres Naturales*. 27-30 Enero, Habana. Comisión de Sismología, 45-46.
- ORBERA L., J. RODRÍGUEZ, B. SOLÁ, A. ARIAS, M.C. MARQUETTI, T. LOMBARDEO e I. GUTIÉRREZ (1989a): Estudio sismotectónico para el complejo hidroenergético Toa-Duaba. Fondos de la Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica, Ministerio de la Industria Básica de Cuba.
- ORBERA L., M. CABRERA, N. KRESTNIKOV, T.P. BELOUSOV, D. STRANGUE, A. ARIAS, M.A. LÓPEZ y M.C. MARQUETTI (1989): Neotectónica de Cuba y plataforma marina. *Resúmenes y Programa del Primer Congreso Cubano de Geología. Simposio sobre la Geología del Caribe Occidental. Reunión de los proyectos 165, 242 y 262 del PICG*. Ciudad de La Habana. 29-31 de marzo.
- PACHECO J.F. y L.R. SYKES (1992): Seismic moment catalog of large earthquakes. 1900-1989. *Bull. of the Seism.Soc. of Am.*, 82(3):1306-1349, (en Inglés).
- PANAGIOTOPOULOS D.G. (1995): Long-term earthquake prediction in Central American and Caribbean sea based on the time – and magnitude – predictable model. *Bull. of the Seism.Soc. of Am.*, 85(4):1.190-1.201, (en Inglés).
- PASTOR A. (1917): Al margen de un trabajo sismológico del Dr. Jover. *Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural "Felipe Poey"*, Vol. II. La Habana.
- PÉREZ E. y E. AZCUY (1992): Aplicación de nuevas metodologías para la interpretación geomagnética regional. Trabajo de Diploma del Departamento de Geofísica, Instituto Superior Politécnico "J.A. Echeverría", Cuba 85 p.
- PÉREZ DOVAL J. y RODRÍGUEZ FLORES E.R. (2002): Posibles relaciones entre factores astronómicos y la ocurrencia de macrosismos. *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 2: Instituto de Geofísica y Astronomía, Cuba.
- PERROT J., E. CALAIS y B. MERCIER DE LÉPINAY (1997): Tectonic and kinematic regime along the northern Caribbean plate boundary: New insights from broadband modeling of the May 25, 1992, Ms= 6,9 Cabo Cruz, Cuba, earthquake, *Pure applied geophys*, 149: 475-487, (en Inglés).
- PERREY A. (1856): Catalogues annuels des tremblements de terre. *Bull. de l'Acad. des Sc. de Belgique*, 23-24(1), (en Francés).
- PERREY A. (1846): Liste des tremblements de terre ressentis pendant les années 1845 et 1846. *Mém. De l'Acad. des Sc. de Dijon*, 393-400, (en Francés).
- PERREY A. (1845): Sur les tremblements de terre aux Antilles. *Mém. De l'Acad. des Sc. de Dijon*, 325-392, (en Francés).

- PERREY A. (1843): Note historique sur les tremblements de terre des Antilles. *Compt. Rend. de l'Acad. des Sc. de Paris*, 16:1283-1303, (en Francés).
- PEZUELA J. de la (1863): Diccionario geográfico, estadístico e histórico de la Isla de Cuba. 3 tomos. Editorial: Imprenta del Establecimiento de Mellado, Madrid.
- PEZUELA J. de la (1866): Diccionario geográfico, estadístico e histórico de la Isla de Cuba. 4to tomo. Editorial: Imprenta del Banco Industrial y Mercantil, Madrid.
- PICHARDO E. (1854): Geografía de la Isla de Cuba. (3 partes). Editorial: Establecimiento Tipográfico de D. M. Soler, La Habana.
- PICO R. y T. CHUY (1989): MACRO: Sistema para el procesamiento de datos macrosísmicos de Las Antillas Mayores. *Resúmenes de la V Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía*, p. 68. Academia de Ciencias de Cuba.
- POEY A. (1857): Catalogue chronologique des tremblements de terre ressentis dan les Indes Occidentales de 1530 á 1857. Accompagné d'une Revue Bibliographique Contenant Tous les Travaux Relatife aux Tremblements de Terre des Antilles. *Annuaire de la Societé Météorologique de France*, 5, 75-227, Paris, (en Francés).
- POEY A. (1855a): Tableau chronologique des tremblements de terre ressentis a l'île de Cuba de 1551 á 1855. *Annales des Voyages*, 6ª serie, 11, 301 p. Malte-Brun, Paris, (en Francés).
- POEY A. (1855b): Supplément au tableau chronologique des tremblements de terre ressentis a l'île de Cuba de 1530 á 1855. *Annales des Voyages*, 4, 286 p. Malte-Brun, Paris, (en Francés).
- RAMOS L.E. (1994): Notas históricas acerca de dos directores del Observatorio del Colegio de Belén y su significado científico. *Resúmenes del Primer Congreso Nacional de Historia de la Ciencia y la Técnica*, 14-16 Nov., La Habana. CEHOC, Academia de Ciencias de Cuba.
- ROCKWOOD C.G. (1880): Notices of recent american earthquakes. *American Journal of Science*, 19(109), (en Inglés).
- RODRÍGUEZ M. (1995): Estimaciones probabilísticas de la peligrosidad sísmica en Cuba. Editorial MAPFRE, 80 p. Madrid.
- RODRÍGUEZ FERRER M.: Naturaleza y civilización de la Isla de Cuba.
- RODRÍGUEZ A., M. MUNDI y J.L. CASTILLO (1996): Morfotectónica y sismotectónica de la región de Moa. *Revista Minería y Geología*, 2:13-16, Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
- RODRÍGUEZ A., N.M. CARRALERO y M. CONDE (2000): Estudio de las estructuras sismogeneradoras Quesigua y El Medio, al este de la ciudad de Moa. *Revista Minería y Geología*, 3-4:87-90, Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
- ROSSEAU P. y P. DÍAZ DE VILLEGAS (1920): Memoria descriptiva histórica y bibliografía de Cienfuegos y las fiestas del primer centenario de la fundación de esta ciudad. 25 p., La Habana.
- ROTHER J.P. (1969): The seismicity of the Earth 1953-1965. UNESCO, *Earth Sciences*, 1, 336 p, (en Inglés).
- RUBIO M. (1985): The assessment of seismic hazard for the Republic of Cuba. *Proceedings of the 3rd International Symposium on the Analysis of Seismicity and on Seismic Risk.*, Liblice Castle, Czechoslovakia June 17-22, Editorial Academia, Praga, (en Inglés).
- RUBIO M. (1985a): The assessment of seismic hazard for the Republic of Cuba. Tesis en opción al grado de Candidato a Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas, Instituto de Geofísica, Academia de Ciencias de Checoslovaquia, Praga, 100 p., (en Inglés).

- RUBIO M. (1984): Seismicity of the Republic of Cuba and adjacent areas. Academy of Sciences of Czechoslovakia's Report, 60 p., (en Inglés).
- RUBIO M. (1982): Ocurrencia de tsunamis en el Caribe. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 2:170-180. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- RUBIO M., T. CHUY y L. ÁLVAREZ (1980): Acerca de la actividad sísmica de octubre de 1976. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 1:69-85. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- RUBIO M., M. COTILLA y L. ÁLVAREZ (1994): Evidencias sobre la microplaca Gonave. Informe Científico-Técnico, p. 20. Instituto de Geofísica y Astronomía, Cuba.
- RUIZ J., R. PICO, L. ÁLVAREZ, T. CHUY y M. COTILLA (1992): Modelación matemática del pronóstico de magnitudes máximas de los terremotos en la región del Caribe. *Revista Reconocimiento de Elementos de Estructuras Espaciales*, 6:81-101. Instituto de Cibernética y Física e Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- SAGRA, R. (1872): Historia física, política y natural de la Isla de Cuba. Suplemento de la Economía Política. Editorial: Librería de L. Hachette y Cña., París, 202 p.
- SAGRA R. (1869): Historia física, política y natural de la Isla de Cuba. Editorial: Librería de Arthur Bertrand, París. 2 Volúmenes.
- SAGRA R. de la (1860): Relación de los trabajos físicos y meteorológicos hechos por Don Andrés Poey. Editorial Thunot, Paris, 40 p.
- SAGRA R. de la (1856): Suplemento a la sección económico-política. Librería de la Hachette y Cña., Paris.
- SAGRA R. de la (1842): Historia física, política y natural de la Isla de Cuba. Librería de Arthur Bertrand, Paris, 10 tomos.
- SALTERAÍN Y LEGARRA P. (1884): Ligera reseña de los temblores de tierra ocurridos en la Isla de Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana*, 21:203-218.
- SÁNCHEZ F. y E. VOROBIOVA (1989): La zona de infracorrimiento Santiago de Cuba: Nuevos datos sobre el borde noroeste de la placa Caribe. *Resúmenes y Programa del Primer Congreso Cubano de Geología. Simposio sobre la Geología del Caribe Occidental. Reunión de los proyectos 165,242 y 262 del PICG*. Ciudad de La Habana. 29-31 de marzo.
- SEO K., B. GONZÁLEZ, E. ARANGO, *et al.* (1998): Past, present and perspective research on seismic microzoning in the cities of Santiago de Cuba and Havana. *Proceedings of the workshop to exchange research information in the international scientific research project "Joins studies on seismic microzonation in earthquake countries"*, Tokyo Institute of Technology, Japan, 17 p., (en Inglés).
- SERRANO M. y L. ÁLVAREZ (1983): Desarrollo de la sismología instrumental en Cuba. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4:5-20. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias Cuba.
- SERRANO M. y S. ESCALONA (1979): La red de estaciones sismológicas de las provincias orientales. *Resúmenes de la 2da Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía*, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana.
- SERRANO M., L. VÁZQUEZ, G. LÓPEZ y F. RUIZ (1989): SISMOTEL200: Un sistema cubano de estaciones sismo-telemétricas. *Resúmenes de la V Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía*, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana.

- SHAKIRDZHANOVA G., *et al.* (inédito): Catálogo de terremotos de la red oriental de Cuba para el período 1979-1988. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- SHERER J. (1912): Great earthquakes in the Island of Haiti. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 2(1):161-180, (en Inglés).
- SHERBAKOVA B.E., V.G. BOVENKO y G. HERNÁNDEZ (1977): Estudio de la corteza terrestre de Cuba occidental. *Geología Soviética*, 8:130-142, (en Ruso).
- SHERBAKOVA B.E., V.G. BOVENKO, T.N. LATZENKO e I.P. MIROSHNICHENKO (1975): Informe sobre los resultados de las observaciones con los aparatos “Tierra” en el territorio de Cuba Occidental llevadas a cabo en 1972-1974. Archivos del Consejo Nacional del Fondo Geológico, Ministerio de la Industria Básica, (en Ruso).
- SOMOHANO A. (1969): Catalogue of earthquakes felt at Cuba. Thesis of Diploma of Imperial College. London, (en Inglés).
- SOUTHEY TH. (1827): Chronological history of the West Indies. Londres, Vol. II, 522 p., (en Inglés).
- TABER S. (1932): The recent earthquake near Santiago de Cuba. *Earthquake Notes*, (en Inglés).
- TABER S. (1931): The structure of the Sierra Maestra near Santiago de Cuba. *Jour.Geol.*, 39:532-563, (en Inglés).
- TABER S. (1922): The seismic belt in the Greater Antilles. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 12(4):199-219, (en Inglés).
- TABER S. (1920): Jamaica Earthquakes and the Bartlett Trough. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 10 (2):84-88, (en Inglés).
- TEGG TH. (1824): Chronology. Londres, 138 p., (en Inglés).
- TEGG W. (1854): Dictionary of chronology. Londres, 188 p., (en Inglés).
- TOMBLIN J. y G.R. ROBSON (1977): A catalogue of felt earthquakes for Jamaica with references to others islands in the Greater Antilles, 1524-1971. Mines Geol. Division, Special Publication, Jamaica, (en Inglés).
- TORRES LASQUETI J. (1888): Colección de datos históricos, geográficos y estadísticos de Puerto Príncipe y su jurisdicción. La Habana.
- TRELLES C. (1918): Biblioteca científica cubana. Tomo I, 213-215 p., La Habana.
- UDÍAS A. (1996): The jesuit contribution to meteorology. *Bull. of the Meteorological Soc.*, 77(10):2307-2315, (en Inglés).
- UDÍAS A. y W. STAUDER (1996): The jesuit contribution to seismology. *Seismological Research Letters*, 67(3):10-19, (en Inglés).
- USCGS-NEIS (1966-1998): United States Coast and Geodetic Survey – National Earthquake Information Service. Preliminary determination of epicentres (monthly listing); Earthquake data report, (en Inglés).
- VALIENTE A. (1853): Tabla cronológica de los sucesos ocurridos en Santiago de Cuba. *Nueva York*.
- VIÑAS B. (1949): Datos y apuntes sobre sismos perceptibles en Santiago de Cuba. Inédito.
- VIÑES B. y P. SALTERAÍN (1880): Excursión a Vuelta Abajo de Viñes y Salterain en ocasión de los fuertes temblores de tierra ocurridos en la noche del 22 al 23 de enero de 1880. Ediciones “La Voz de Cuba”, La Habana, 68 p.
- VIREUX J., E. CALAIS, A. DESCHAMPS, B. MERCIER DE LÉPINAY y N. BÈTHOUX (1992): Tectonic interpretation of the May 25th 92 Cuban earthquake. *EOS Transactions*, AGU Fall Meeting, San Francisco, (en Inglés).

- ZAPATA J. (1999): Utilización de variantes metodológicas de microzonación sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geofísicas, Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba.
- ZAPATA J. y T. CHUY (1992): Validación de la microzonificación sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba por las observaciones macrosísmicas de terremotos. *Reporte de Investigación del Instituto de Geofísica y Astronomía*, Academia de Ciencias de Cuba, 27 p.

## Pie de las figuras

- Fig. I.1- Sismómetros Sprengnether, propiedad de la Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid. [A: Período largo, año 1970; B: Período medio, año 1940].
- Fig. I.2- El autor con un colega alemán en Potsdam, Alemania (antiguo ZIPE y actual *GeoForshungZentrum*).
- Fig. I.3- Daños del terremoto del año 1932 en Santiago de Cuba.
- Fig. I.4- Localización de la placa Caribe. [Se indican algunos elementos del entorno caribeño. 1: Norteamérica, 2: Golfo de México, 3: Océano Atlántico, 4: La Española, 5: Cuba, 6: Elevado de Beata, 7: Océano Pacífico, 8: América del Sur, 9: Hoya de Yucatán, 10: Antillas Menores, 11: América Central, 12: Bahamas, 13: Península de Yucatán, 14: Colombia, 15: Venezuela, 16: Fosa de Puerto Rico, 17: Jamaica, 18: Fosa de Bartlett-Caimán].
- Fig. I.5- Cinturón de Fuego del Pacífico. [Se indica con flechas los bordes de contacto entre las placas litosféricas donde se localizan terremotos, tsunamis, volcanes y fosas oceánicas. También aparece indicada la situación espacial de la placa Caribe].
- Fig. 1.1- Esquema del interior de la Tierra. [Las flechas indican el sentido de movimiento del material; 1: continente, 2: manto, 3: núcleo, 4: fosa oceánica, 5: dorsal centro-oceánica].
- Fig. 1.2- Corte vertical por rango de profundidad de la Tierra. [1: corteza, 2: manto superior, 3: manto inferior, 4: núcleo externo, 5: núcleo interno].
- Fig. 1.3- Corte transversal de la Tierra indicando el relieve. [1: océano, 2: montaña, 3: corteza granítica, 4: corteza basáltica, 5: manto, 6: discontinuidad de Moho].
- Fig. 1.4- Esquema de las placas litosféricas. [1: Norteamérica, 2: Caribe, 3: Suramérica, 4: África, 5: Arabia, 6: Eurasia, 7: India, 8: Australia, 9: Filipinas, 10: Pacífico, 11: Cocos, 12: Nazca].
- Fig. 1.5- Borde convergente de placas. [1: océano, 2: arco volcánico, 3: corteza continental, 4: litosfera, 5: corteza oceánica, 6: astenosfera, 7: fosa oceánica. Las flechas indican el sentido de movimiento. Aparecen representados los volcanes y con círculos negros los terremotos].
- Fig. 1.6- Segmento del contacto litosférico Caribe-Norteamérica. [Se indican las microplacas de Gonave y de La Española-Puerto Rico, así como el megabloque Cuba].
- Fig. 2.1- Pliegue en las inmediaciones de Santiago de Cuba, montañas de la Sierra Maestra.
- Fig. 2.2- Modelo de combinación de esfuerzos para el terremoto de Spitak. [Según el Prof. H.Philip. 1: Alavar, 2: Spitak, 3: Gekhasar].
- Fig. 2.3- Falla de Bolnai, Mongolia. [Foto del Prof. H.Philip. Se aprecia el trazo irregular de la falla en el relieve. Está relacionada con el terremoto del año 1905 y  $M=8,5$ ].
- Fig. 2.4- Esquema de la falla de San Andrés y su conexión con otras fallas.
- Fig. 2.5- Representación de las fallas y la solución de los mecanismos focales correspondientes. [1: Falla normal, 2: Falla inversa, 3: Falla transcurrente].
- Fig. 2.6- Significativo escarpe de falla.
- Fig. 2.7- Escarpe de falla del terremoto de Spitak, Armenia, del año 1988 y  $M=6,9$ . [Foto del Prof. H.Philip].

- Fig. 2.8- Efectos del terremoto de Pílon del 19.02.1976 (Álvarez *et al.*, 1985). [Se aprecian fuertes pendientes y cantos de diferente tamaño acumulados en la base de la montaña].
- Fig. 2.9- Segmento de la costa oeste de Santiago de Cuba. [Se aprecia la diferenciación altimétrica del relieve].
- Fig. 2.10- Falla Nortecubana con isosistas y epicentros. [Isosistas de: 1- Remedios-Caibarién, del 15.08.1939; 2- Gibara, del 28.02.1914. También en las inmediaciones de 1 hay otros dos terremotos, con isosistas similares, de fechas: 22.01.1983 y 24.09.1983. El cuadrado negro (3) corresponde a varios eventos sísmicos perceptibles. El trazo negro discontinuo es el sistema de fallas Nortecubana].
- Fig. 2.11- Sistema de fallas listricas de la parte occidental de Galicia, determinada por Sísmica de Refracción y Reflexión.
- Fig. 2.12- Trazo del desplazamiento producido en un segmento de falla durante el terremoto de Izmit, Turquía (año 1999, M= 7,6). [Foto del Prof. H.Philip. En la foto aparece el Prof. Armando Cisternas].
- Fig. 2.13- Esquema de los elementos identificativos de una estructura geológica. [BUZ: buzamiento de los estratos. Se indica con trazos continuos negros las direcciones de las estructuras (elevaciones del fondo y del valle). Se identifica al pie una rosa de direcciones].
- Fig. 2.14- Representación del mecanismo focal. [I) Aparece un corte de la superficie de la Tierra con el foco de un terremoto, dos estaciones sísmicas, y los rayos correspondientes: F= foco / esfera focal, ST= superficie de la Tierra, E= epicentro, E1 y E2= Estaciones sísmicas, R1 y R2= rayos. II). Se muestra al detalle la esfera focal {EF}, con el plano: 1= de la falla, 2= auxiliar; 4= sentido de movimiento; R1 y R2= rayos. III) La solución del mecanismo focal es un círculo con cuatro cuadrantes de color alterno, blanco y negro. Ellos representan las compresiones y dilataciones, respectivamente. El círculo está orientado con el norte (N) en la parte superior. Aparecen e también representados los planos de falla (1) y auxiliar (2), y los rayos R1 y R2, que sería los ejes de compresión y tensión, respectivamente].
- Fig. 3.1- Mapa de la antigua división político-administrativa con las seis antiguas provincias. [Se representan en cuadrados negros y blancos algunas de las estaciones sísmicas temporales que han funcionado en diferentes períodos; 1: Alonso Martínez; 2: Cienfuegos, 3: Esmeralda, 4: Pílon, 5: Santiago de Cuba, 6: Holguín; y con triángulos las tres zonas donde se planificó la construcción de las CENs].
- Fig. 3.2- Esquema tectónico del entorno litosférico Caribe. [Aparece: un segmento de las placas de Norteamérica, Suramérica, Cocos y Nazca, con sus sentidos principales de movimiento relativo; las principales líneas de debilidad tectónica, los epicentros de terremotos, y algunos elementos del relieve].
- Fig. 3.3- Esquema del relieve de Cuba con indicación de algunas localidades. [1: Montañas de Guaniguanico, 2: Montañas de Guamuhaya, 3: Montañas de Nipe-Cristal-Baracoa, 4: Montañas de la Sierra Maestra, 5: Cuenca de Los Palacios, 6: Cuenca de La Broa, 7: Cuenca de Cochinos, 8: Cuenca de Santo Domingo, 9: Cuenca de La Trocha (o Central), 10: Cuenca de Ana María, 11: Cuenca del Cauto, 12: Cuenca de Nipe, 13: Cuenca de Guantánamo, 14: Isla de la Juventud].

- Fig. 3.4- Modelo neoplatafórmico de Iturralde (1977). [Se indican los bloques con tendencia al: {1: levantamiento, 2: descenso}; 3: fallas].
- Fig. 3.5- Mapa simplificado neotectónico de Cuba, escala original 1:1.000.000 de Cotilla *et al.* (1991b). [Unidades neotectónicas: 1= Occidental, 2= Oriental; Sistemas de fallas activos (líneas gruesas negras): NC= Nortecubana, SC= Surcubana, BC= Bartlett-Caimán, CN= Cauto-Nipe; Zonas con tendencia a los descensos: 3= Hoya de Yucatán, 4= Golfo de México; 5: Fosa de Oriente; 6: Plataforma de Bahamas. Se indica con: a) líneas verticales finas la zona de contacto lateral de las placas Caribe-Norteamérica; b) puntos negros de diferente dimensión las zonas de deformación].
- Fig. 3.6- Mapa simplificado sismotectónico de Cuba, escala original 1:1.000.000 de Cotilla *et al.* (1991a). [Aparecen indicadas en trazos negros gruesos las zonas sismogénicas, todas identificadas con un código {número o siglas} que se corresponden con la tabla 8.13; los límites externos de la Provincia Sismotectónica Cuba son las zonas NC: Nortecubana, SC: Surcubana, BC: Bartlett-Caimán; las Unidades Sismotectónicas A: Occidental, B: Central, C: Oriental, D: Suroriental; el límite entre las Unidades Occidental y Oriental es CN: Cauto-Nipe].
- Fig. 3.7- Esquema de las Unidades Sismotectónicas de Cuba. [Aparecen los nombres de algunas localidades y con líneas gruesas negras los límites de las cuatro Unidades y de la Provincia Sismotectónica. Esos límites se identifican con siglas: BC: Bartlett-Caimán, CN: Cauto-Nipe, NC: Nortecubana, SC: Surcubana; las estaciones sismológicas que operaron en diferentes períodos están representadas en cuadros negros e identificadas con siglas: SOR: Soroa, JUR: Juraguá, CCC: Cascorro, MAN: Manatí, MAS: Maisí, PIN: Pinares de Mayarí, BAZ: Bazán, MAS: Maisí, RCC: Río Carpintero, LMG: Las Mercedes].
- Fig. 4.1- Esquema de las tres regiones de Cuba con las fechas de fundación de algunas localidades. [Aparecen: con cuadrados negros las estaciones sismológicas de Luyanó y Soroa; las localidades 1: San Crsitóbal (1742), 2: La Habana (1519), 3: Matanzas (1693), 4: Santa Clara (1689), 5: Trinidad (1514), 6: Sancti Spiritus (1514), 7: Remedios (1545), 8: Vertientes (1544), 9: Camagüey (1528), 10: Tunas (1752), 11: Holguín (1751), 12: Manzanillo (1513), 13: Bayamo (15139), 14: Santiago de Cuba (1515), 15: Sagua de Tánamo (1750), 16: Baracoa (1511), 17: Maisí (1511)].
- Fig. 4.2- Vista frontal del Capitolio de Cuba, sede de la Academia de Ciencias de Cuba, actual Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Fig. 4.3- Primera página del catálogo de Don Andrés Poey y Aguirre (1825-1919).
- Fig. 4.4- Retrato del Padre Benito Viñes Marturell, S.J. (1837-1893).
- Fig. 4.5- Vista del Colegio de Belén en La Habana.
- Fig. 4.6- Sismógrafo Omori-Bosch de la Estación Sísmica, perteneciente al Colegio de Belén, que funcionó en la localidad de Luyanó, La Habana.
- Fig. 4.7- Foto de Don Eduardo Montelieu y de la Torre (1883-196-).
- Fig. 4.8- Mapa de isosistas del terremoto del 03.02.1932 de Montelieu (1933).
- Fig. 4.9- Foto del Profesor Dr. Peter Bankwitz, especialista en Tectónica del *GeoForschungZentrum*.
- Fig. 4.10- Vista de la estación sismológica de Soroa, Pinar del Río. [Aparece el autor de pie y a la izquierda junto a un especialista ruso, en cuclillas, y otros colegas cubanos].

- Fig. 4.11- Estación sismológica Río Carpintero (RCC) en la Sierra de la Gran Piedra, Santiago de Cuba.
- Fig. 4.12- Mapa de peligrosidad sísmica de Cuba. [Las áreas tienen los valores de intensidad sísmica estimados para un período de 100 años].
- Fig. 4.13- Mapa de zonas sismogeneradoras de Cuba Central de Krestnikov *et al.* (1983).
- Fig. 4.14- Zonas donde se han realizado algunas de las investigaciones de microrregionalización sísmica en Cuba. [Se indica con cuadrados negros y números, 1: Holguín, 2: Santiago de Cuba, 3: Guantánamo, 4: Bayamo, 5: Cienfuegos].
- Fig. 5.1- Retrato de Don José Martí y Pérez (1853-1895).
- Fig. 5.2- Terremoto de Charleston con sus isosistas (Geological Survey).
- Fig. 5.3- Foto de las afectaciones a la Iglesia de St. Michel producidas por el terremoto de Charleston (Geological Survey).
- Fig. 5.4- Esquema del modelo Reid. [Se representa la situación de un camino orientado de este a oeste, con el trazo de una falla y el desplazamiento correspondiente. Es un diagrama, en tres etapas, para indicar cómo el movimiento lateral continuo desencadena terremotos intermitentes. Considerar la deformación de cualquier línea recta ABCD a través de la falla].
- Fig. 5.5- Isosistas del terremoto de San Cristóbal, Pinar del Río, del 28.01.1880. [Modificado de Álvarez *et al.* (1985). 1: La Habana, 2: bahía de Cochinos. Se representan sólo los valores de intensidad sísmica de VIII a V grados (MSK)].
- Fig. 5.6- Isosistas de Torriente-Jagüey Grande, Matanzas, del 16.12.1982. [Modificado de Chuy *et al.* (1983). Aparecen las áreas sombreadas con los valores de intensidad sísmica (MSK) asociados].
- Fig. 6.1- Evento científico en la sede de la Academia de Ciencias de Cuba, Capitolio Nacional. [El autor expone los resultados de una investigación con métodos de teledetección].
- Fig. 6.2- Recorte de prensa del diario “La Discusión” con la información del terremoto del año 1914. [Se aprecia el deterioro del material, además aparecen las isosistas confeccionadas al efecto del terremoto por el Padre Mariano Gutiérrez Lanza, S.J.].
- Fig. 6.3- Sismograma del terremoto del 03.02.1932 obtenido por la estación sísmica de Tacubaya en México (Montelieu, 1933). [Se indica el tiempo de origen ( $T_0$ ), las onda P y la onda S].
- Fig. 6.4- Foto del Archivo de Indias, Sevilla – España.
- Fig. 6.5- Esquema del terremoto del 11.06.1766 en Santiago de Cuba. [A: Aparece indicado el valor de la intensidad sísmica estimada (MSK); B: Corresponde al rectángulo negro de figura A, y aquí se detalla la perceptibilidad sísmica en la Ciudad de Santiago de Cuba y su entorno inmediato. Se indica la localización del epicentro con un círculo negro].
- Fig. 7.1- Estación sísmica portátil MARSLITE con su sismómetro, manufactura Lennartz-Electronic [Propiedad de la Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid].
- Fig. 7.2- Estaciones sísmicas de la red GEOSCOPE. [Según Sylvia Barbier, 01.2003].

- Fig. 7.3- Sismograma del terremoto del 25.05.1992 en Cabo Cruz, Cuba, obtenido con la componente vertical de banda ancha de la estación sísmica ANMO.
- Fig. 7.4- Sismógrafo portátil de tambor y registro en papel ahumado, propiedad de la Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid.
- Fig. 7.5- Sismograma del terremoto del 25.05.1992 en Cabo Cruz, Cuba, obtenido con la componente vertical de largo período de la estación sísmica ANMO
- Fig. 7.6- Representación de las ondas sísmicas de volumen P y S. [Se indica con una flecha el sentido de propagación de las ondas; 1: onda P, 2: onda S; 3 y 6: longitud de onda; 4: amplitud de onda; 5: áreas de compresión].
- Fig. 7.7- Representación de las ondas sísmicas superficiales Love y Rayleigh. [Se indica con una flecha el sentido de propagación de las ondas; 1: onda Love, 2: onda Rayleigh].
- Fig. 7.8- Esquema de la propagación de ondas a partir de un terremoto. [A) F: foco del terremoto, las flechas son los rayos {ondas: directas, reflejadas y refractadas}; 1, 2, 3, 4: medios por los que se propagan las ondas. B) 1, 2: medios; LD: superficie de discontinuidad; las flechas idem a A; tipos de onda: 3: P incidente, 4: P refractada, 5: P reflejada, 6: S refractada, 7: S reflejada].
- Fig. 7.9- Representación de las fases de ondas de los terremotos próximos. [Poblado; Capa: 1= granítica, 2= basáltica; 3= manto; F: foco del terremoto; DM: discontinuidad de Moho; las flechas indican el sentido de propagación de las ondas directas, reflejadas y refractadas en las distintas partes de la corteza].
- Fig. 7.10- Esquema del prototipo de estación sísmica remota cubana. [Sismómetro: 1= NS {norte-sur}, 2=Z {vertical}, 3= EO {horizontal}; 4: suelo; 5: roca firme; 6: equipo de radio / batería; 7: panel solar; 8: antena].
- Fig. 7.11- Esquema de la red de estaciones sismotelébricas (SISMOTEL) instalada, de forma experimental, en Santiago de Cuba. [Las estaciones se representan con triángulos negros. Estaciones con: A) transmisión directa: 1= Margarita, 2= Boniato, 3=Villalón, 8= La Julia, 9= Río Carpintero; B) retransmisión-repetición: 4= Loreto, 5= Trucutú, 6= Palenque, 7= Boniato. CIS= Sede del Centro de Investigaciones Sismológicas].
- Fig. 7.12- Epicentros de los sismos en Pílon del 19.02.1976. [Aparecen las determinaciones de dos redes internacionales: 1= NEIC, 2= ISC. Se aprecia la diferencia entre los eventos correspondientes: A) al sismo principal del 19.02; las réplicas de los días: B) 23.02.1976, C) 24.04.1976].
- Fig. 7.13- Red de estaciones sismológicas de Cuba de acuerdo con Moreno Toirán (2002). [Ver tabla 7.8 del capítulo 7].
- Fig. 7.14- Epicentros de Cuba para el período 1979-1989, determinados con la red cubana, según Rodríguez (1995).
- Fig. 7.15- Selección de epicentros de Cuba Oriental hasta el año 1990, determinados con la red cubana según CENAI.
- Fig. 7.16- Red MIDAS de estaciones sísmicas de Banda Ancha. [<http://midas.upr.clu.edu/mds-broadband.html> de fecha 16.07.2003. Como se puede apreciar no aparece siquiera alguna de las estaciones cubanas].
- Fig. 8.1- Mapas de sismicidad de Cuba y de su entorno. [A: sismicidad más importante y contrastada de Cuba; B: sismicidad de Cuba y la zona límite de placas litosféricas (banda de color gris) de acuerdo con los datos del NEIC, 1990-1994].

- Fig. 8.2- Sectores neotectónicos principales de Cuba Suroriental (Cotilla, 1993). [Se indica en dos colores las regiones de Cuba Oriental y Centro-Oriental, y con valores los niveles altimétricos (en metros)].
- Fig. 8.3- Sismicidad de Cuba Oriental determinada a partir de la red de estaciones cubanas para el período 1979-1994 y el perfil en la profundidad de los terremotos para un corte N-S.
- Fig. 8.4- Mapa del epicentro del terremoto del 19.02.1976 en la localidad de Pilón y las isosistas confeccionadas por Álvarez *et al.* (1985). [A: isosista, B: grado de intensidad sísmica, C: epicentro].
- Fig. 8.5- Mecanismos focales de terremotos. [A: en el borde norte de la placa Norteamérica – Caribe; B: en el entorno de Cuba].
- Fig. 8.6- Sismicidad e isosistas del terremoto del 25.05.1992 de Cabo Cruz de acuerdo con el CEN AIS. [Las isosistas aparecen con trazos discontinuos, incluso en la parte marina. Tienen los valores de intensidad sísmica asociados (MSK). Los epicentros son los puntos negros].
- Fig. 8.7- Representación de la componente  $\sigma_1$  para Cuba Oriental. [Se indica con flechas el sentido del esfuerzo predominante para cinco localidades: P: Pilón, U: Uvero, C: Cojimar, B: Boniato, Ba: Baconao; y se presentan los mecanismos focales, de acuerdo con el NEIC, de cuatro eventos del segmento Cojimar-Baconao].
- Fig. 8.8- Localización de los tsunamis del norte del Caribe según Rubio (1982). [Se indican trece eventos: 1= 1931, 2= 1939, 3= 1755, 4= 1852, 5= 1787, 6= 1692, 7= 1842, 8= 1770, 9= 1751, 10= 1946, 11= 1918, 12= 1867].
- Fig. 8.9- Foto de la fortaleza de Nuestra Señora de los Ángeles de Jagua, bahía de Cienfuegos. [A unos 10 km al NO está localizada el área de estudios de la CEN de Cienfuegos. Este sitio se corresponde con el nudo N1, de la figura 8.13].
- Fig. 8.10- Isosistas presentadas por Orbera *et al.* (1990) para el terremoto del 16.02.1982. [Obsérvese que: 1) hay trazos de perceptibilidad sobre el mar, 2) se diferencian sustancialmente de las presentadas en la figura 8.5. Se indica la intensidad sísmica, MSK].
- Fig. 8.11- Eventos sísmicos recientes representados en el mapa sismotectónico de Cuba. [T1: 22.05.1990, T2: 26.08.1990, T3: 20.03.1992, T4: 25.05.1992, T5: 04.09.1992, T6: 24.09.1992, T7: 09.03.1995, T8: 28.12.1998, T9: 05.01.1999, T10: 05.01.1999, T11: 01.08.2003, T12: 22.11.2003, T13: 13.10.2003, TA: 16.12.1982. Aparecen los mecanismos focales de los eventos T2 y T4, de las inmediaciones de Cabo Cruz].
- Fig. 8.12- Esquemas con las zonas sismogeneradoras para las regiones Oriental y Occidental. [A: Orbera (1983), B: Orbera *et al.* (1990)].
- Fig. 8.13- Esquema de las zonas sismogénicas de Cuba Occidental según Cotilla (1993). [Las zonas aparecen en trazos negros de diferente grosor, siempre asociadas a siglas: C= Cochinos, G= Guane, H= Hicacos, HC= Habana, NC= Nortecubana, P= Pinar, SC= Surcubana; los nudos sismoactivos aparecen como círculos negros y acompañados de siglas: N1= Cienfuegos, N2= Torriente-Jagüey Grande, N3= Güines, N4= San José de las Lajas, N5= Habana].
- Fig. 8.14- Esquema de la fosa Oriente. [Modificado de Calais (1990). 1: Fosa de Oriente, 2: Escarpe de Oriente, 3: Área de Chivirico, 4: Elevación de Santiago].
- Fig. 8.15- Mapa de tensores para el área Caribe-Centro América, según *World Stress Map Rel. 2000-1. Heidelberg Academy of Sciences and Humanities, University of Karlsruhe / International Lithosphere Program.*
- Fig. 8.16- Terremotos fuertes ( $M \geq 7,5$ ) de Cuba y su entorno inmediato.

Fig. 8.17- Vista del Castillo del Morro de La Habana, en su entorno está localizado el nudo N5 de la figura 8.13.

Fig. 8.18- Esquema del entorno del Golfo de México y Cuba. [Aparecen representados: a) con trazos negros los sistemas de fracturas: L1 y HC= Habana-Cienfuegos; b) con puntos oscuros una selección de epicentros de terremotos].

Fig. 9.1- Vista lateral de la Casa de Don Diego Velázquez en Santiago de Cuba.

Fig. 9.2- Vista del Castillo del Morro a la entrada de la bahía de Santiago de Cuba.

Fig. 9.3- Esquema del mapa de Mmáx determinada con el método de Reconocimiento de Formas. [Aparece una generalización en cuatro intervalos de magnitud: 1-4= 7,5 – 5,5].

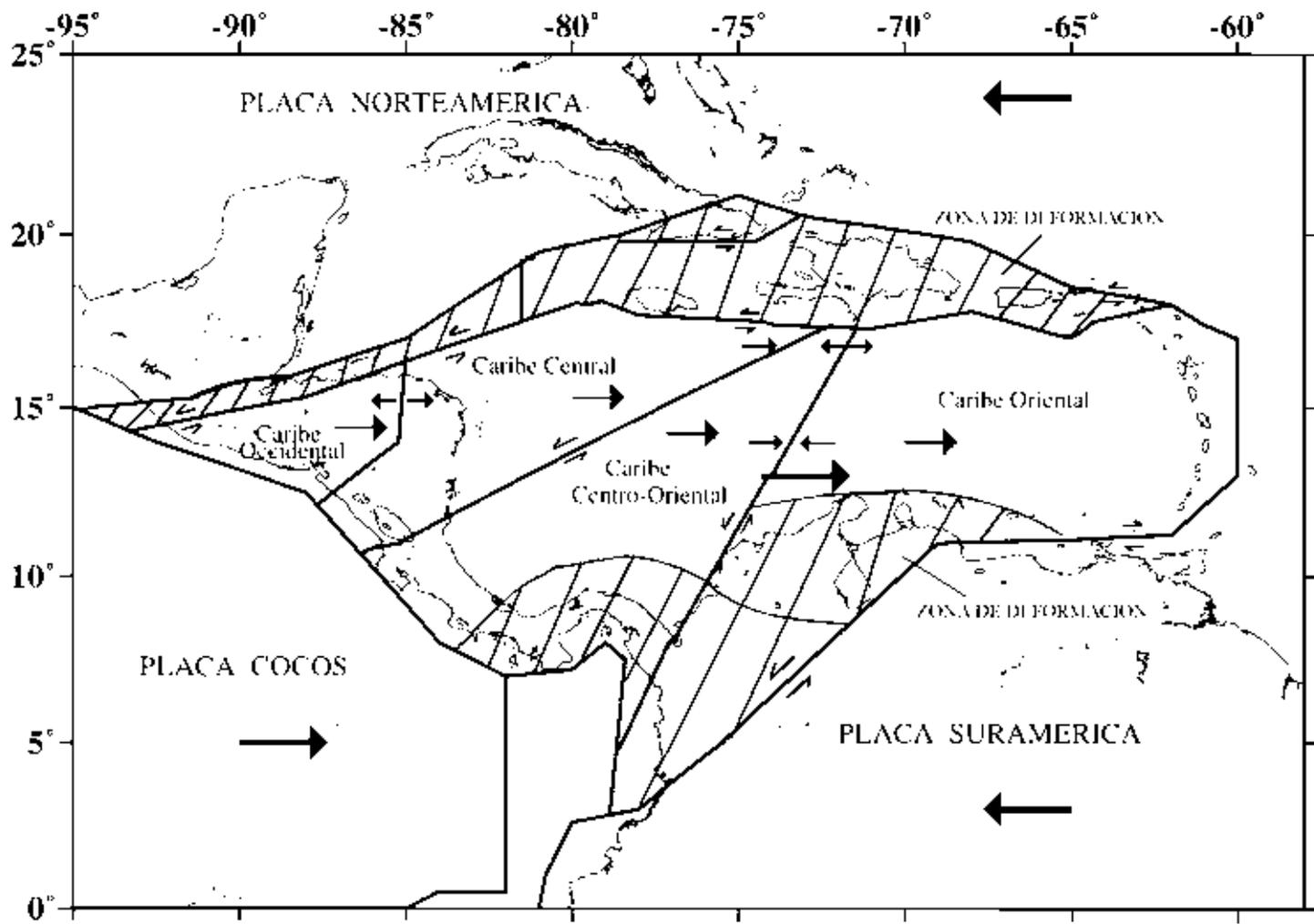
Fig. 10.1- Modelo neotectónicos para Cuba Oriental. [A: Modelo M1. Aparecen en trazos gruesos negros con siglas asociadas las fallas: B-C= Bartlett-Caimán, NC= Nortecubana; con trazo más delgado negro la falla Cauto-Nipe [C-N]; los nudos sismoactivos y de articulación se indican con grandes círculos negros acompañados de siglas: N1= Cabo Cruz, N2= Maisí, N3= Nipe; los epicentros son pequeños puntos negros; las flechas gruesas indican el sentido principal de las placas Norteamérica y Caribe; la flecha arqueada horaria el sentido de movimiento relativo y supuesto para el bloque interior; B: Modelo M2 para Cuba Oriental. (Aparecen en trazos gruesos negros con siglas asociadas las fallas: B-C= Bartlett-Caimán, NC= Nortecubana; en trazos delgados negros las fallas Cauto-Nipe [C-N] y Baconao [B]; los nudos sismoactivos y de articulación se indican con grandes círculos negros acompañados de siglas: N1= Cabo Cruz, N2= Maisí, N3= Nipe; y con círculos negros de menor tamaño N5= Cauto y N6= Puerto Padre; los epicentros son pequeños puntos negros; las flechas gruesas indican el sentido principal de las placas Norteamérica y Caribe; los arcos de flechas arqueados horarios el sentido de movimiento relativo y supuesto para los bloques interiores: CI, CII y CIII].

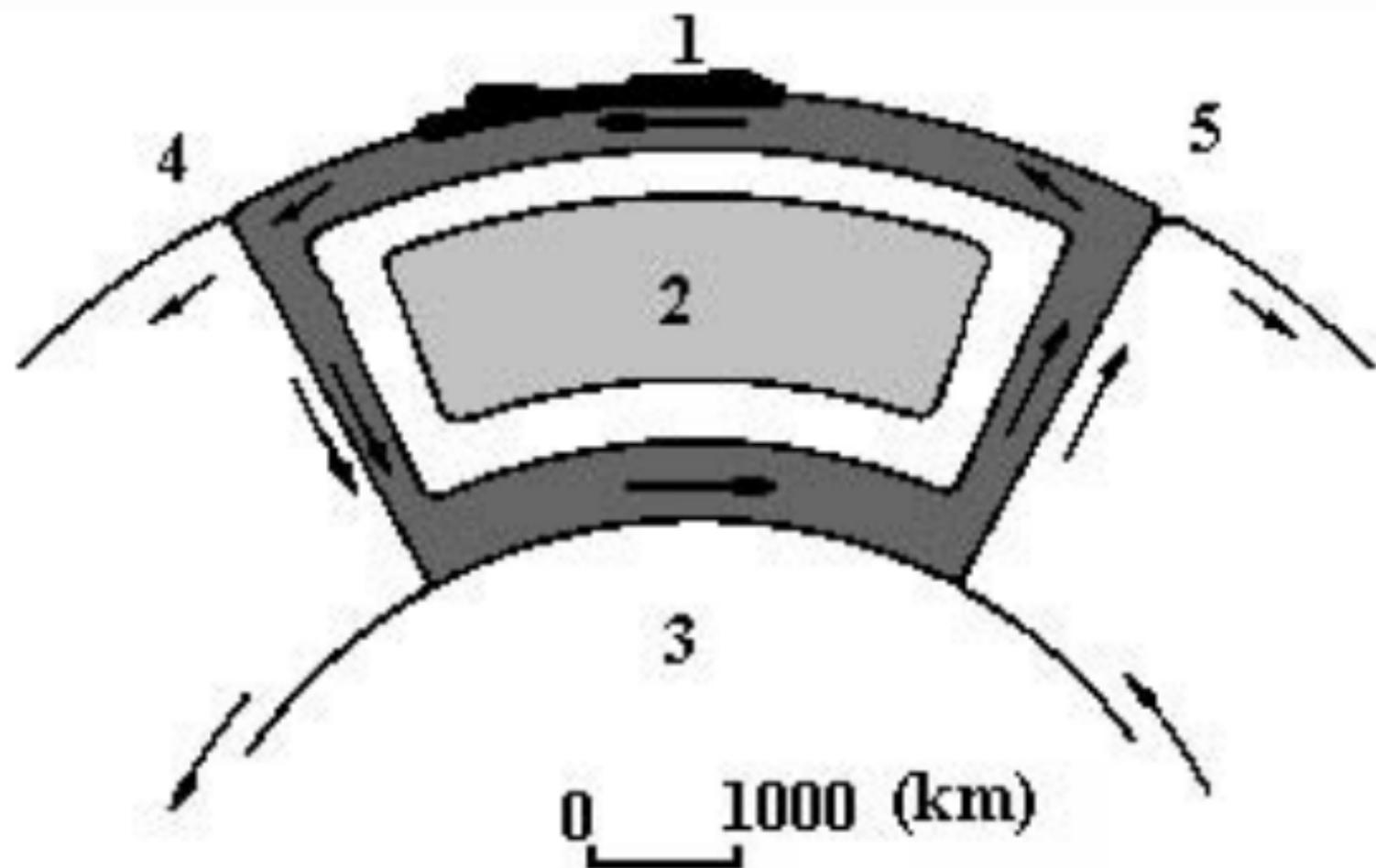
Fig. 10.2- Macrobloques de Cuba Oriental de acuerdo con Hernández *et al.* (1991). [1: montañoso suroriental Sierra Maestra, 2: montañoso nororiental Sierras de Nipe, Cristal, Sagua-Baracoa, Purial, 3: depresiones Central y Guantánamo].

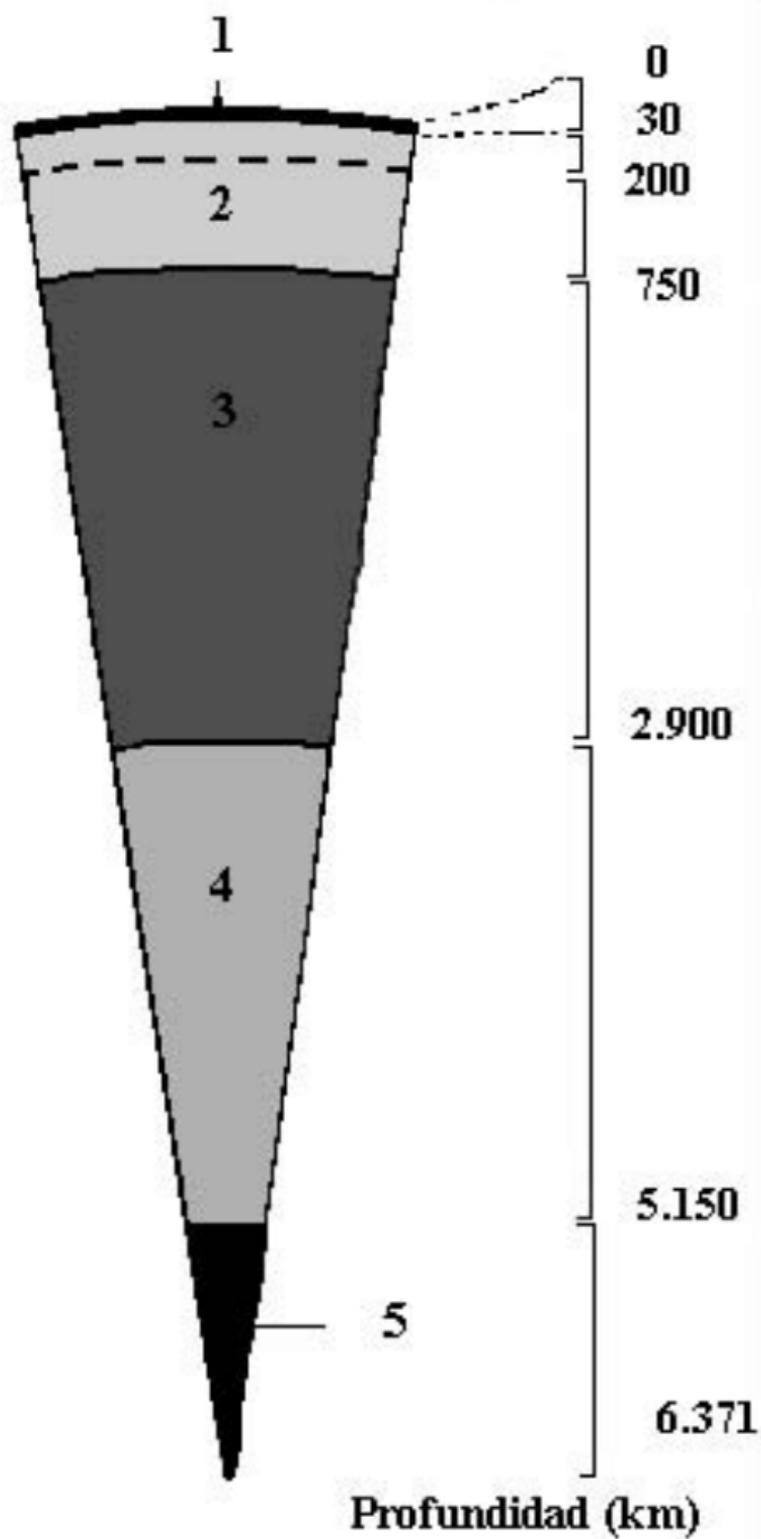
Fig. 10.3- Fotos del entorno de dos nudos de Cuba Oriental. [1: Maisí, 2: Baconao].

Fig. 10.4- Fotos del segmento Uvero-Cojímar en la Sierra Maestra. [1: Frente de montaña con pendientes abruptas; 2: Salto de agua].

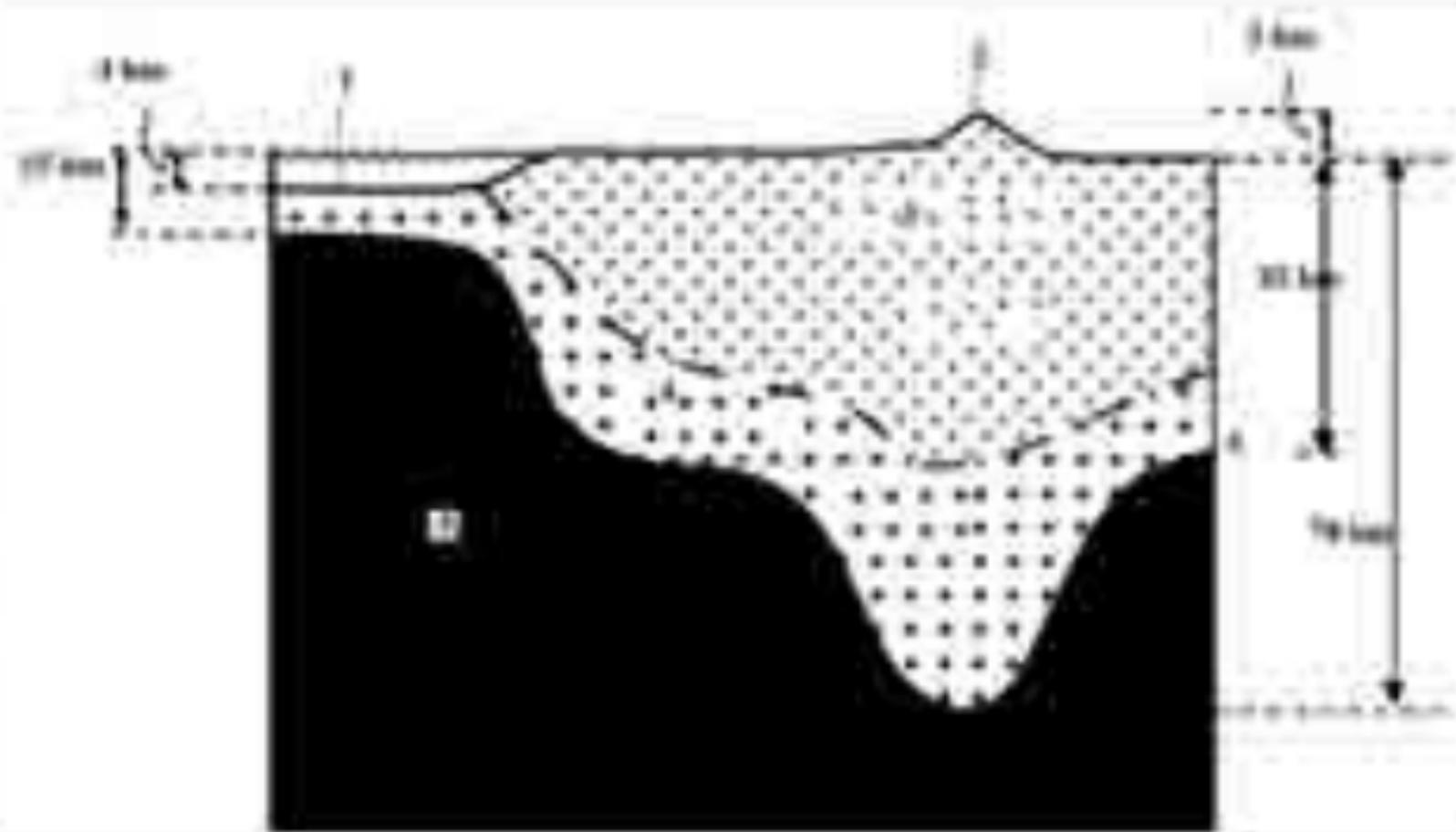
Fig. 10.5- Modelo geodinámico para el Caribe [Cotilla y Udías (1999a). Se indican: a) las principales zonas de deformación; b) las placas litosféricas; c) los bloques morfotectónicos principales; d) las líneas de actividad principal; e) los sentidos de movimiento relativo].

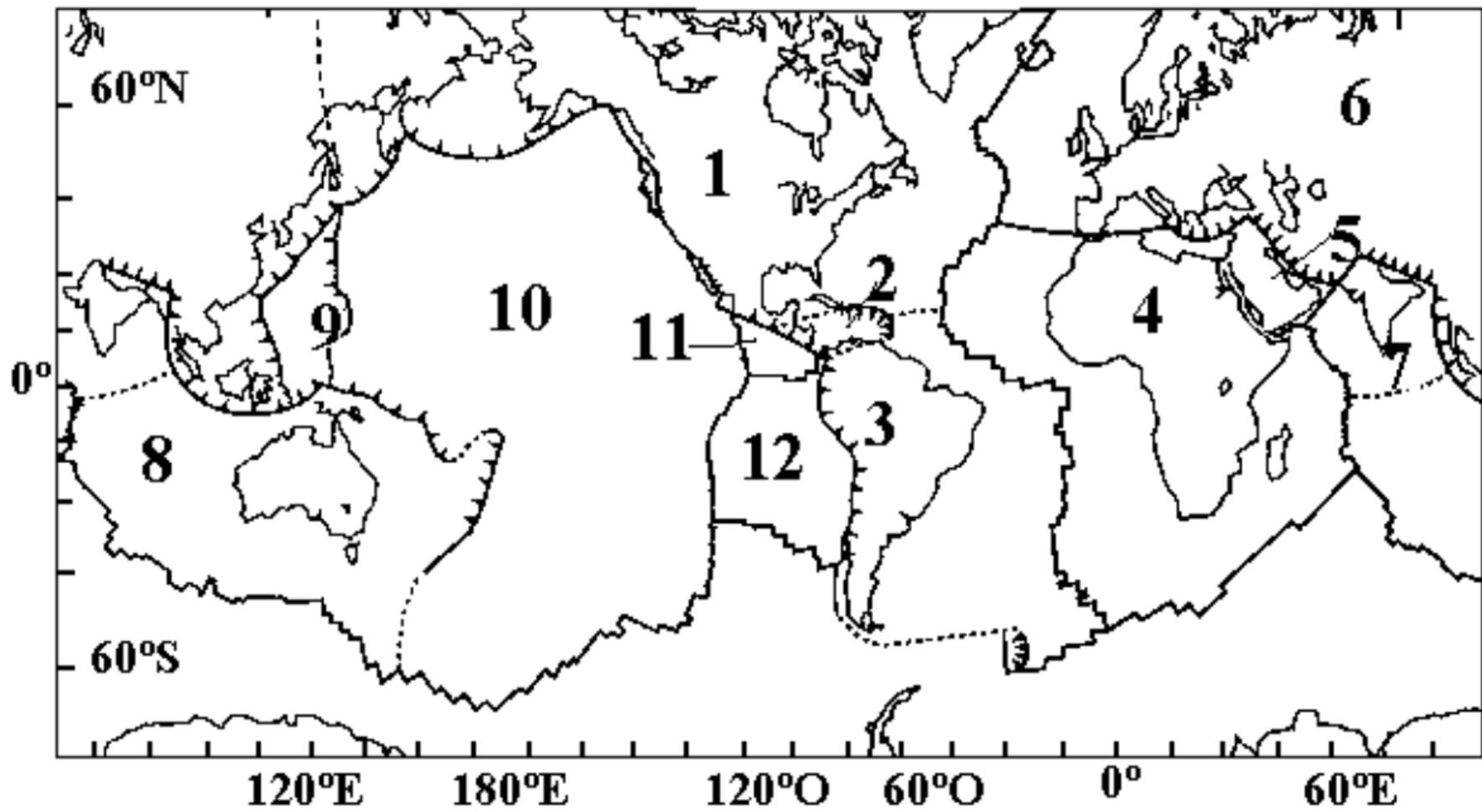


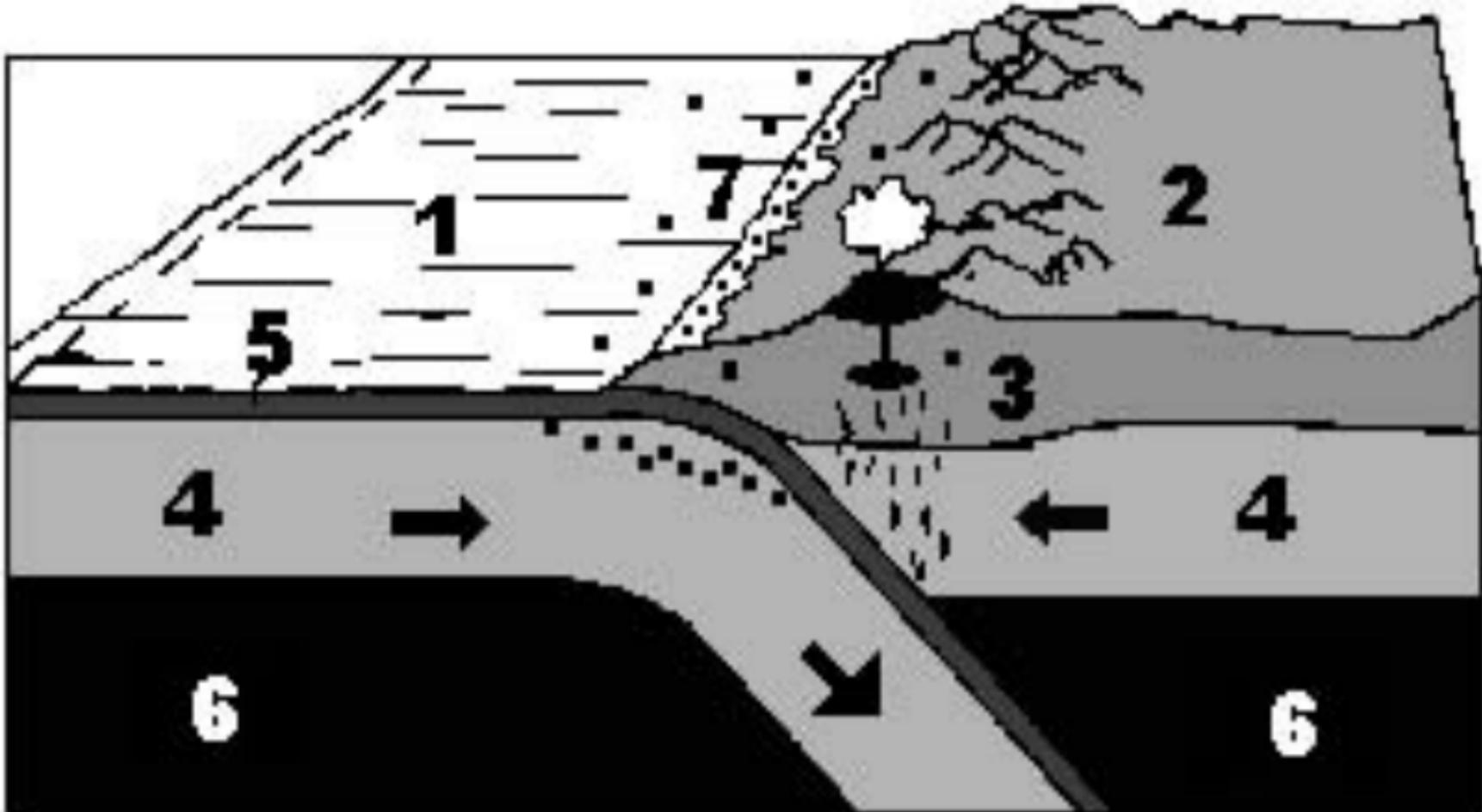


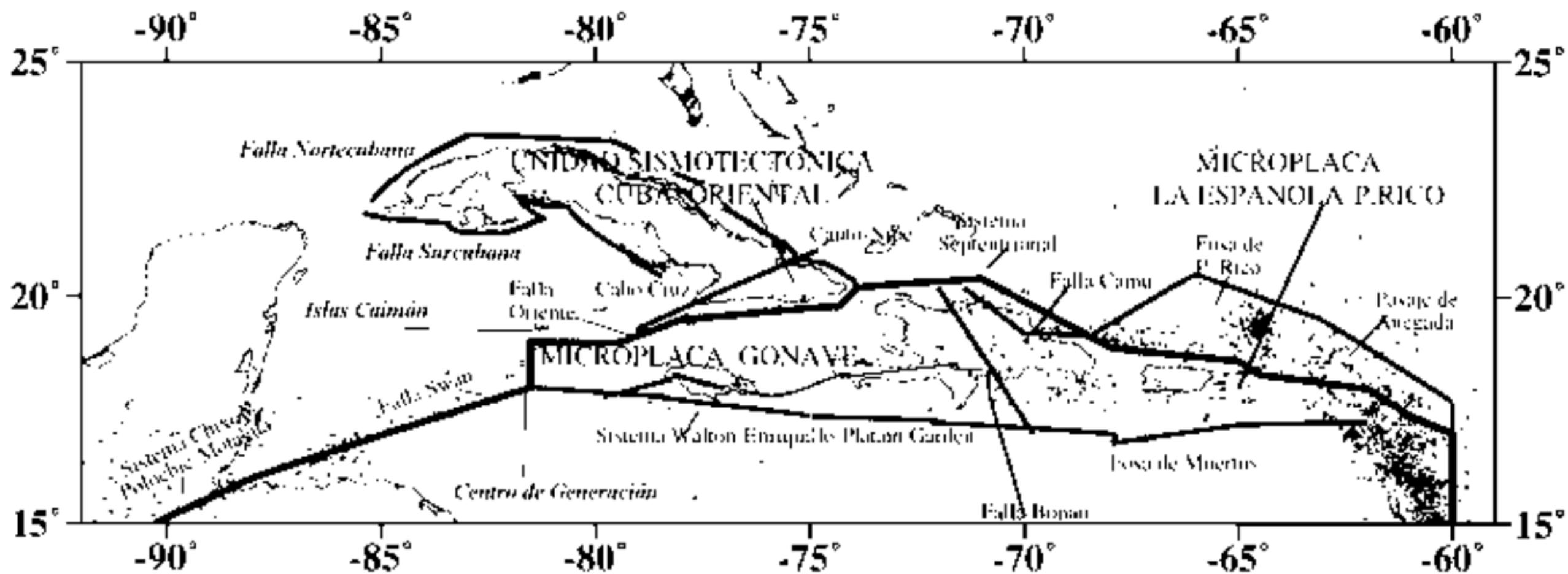


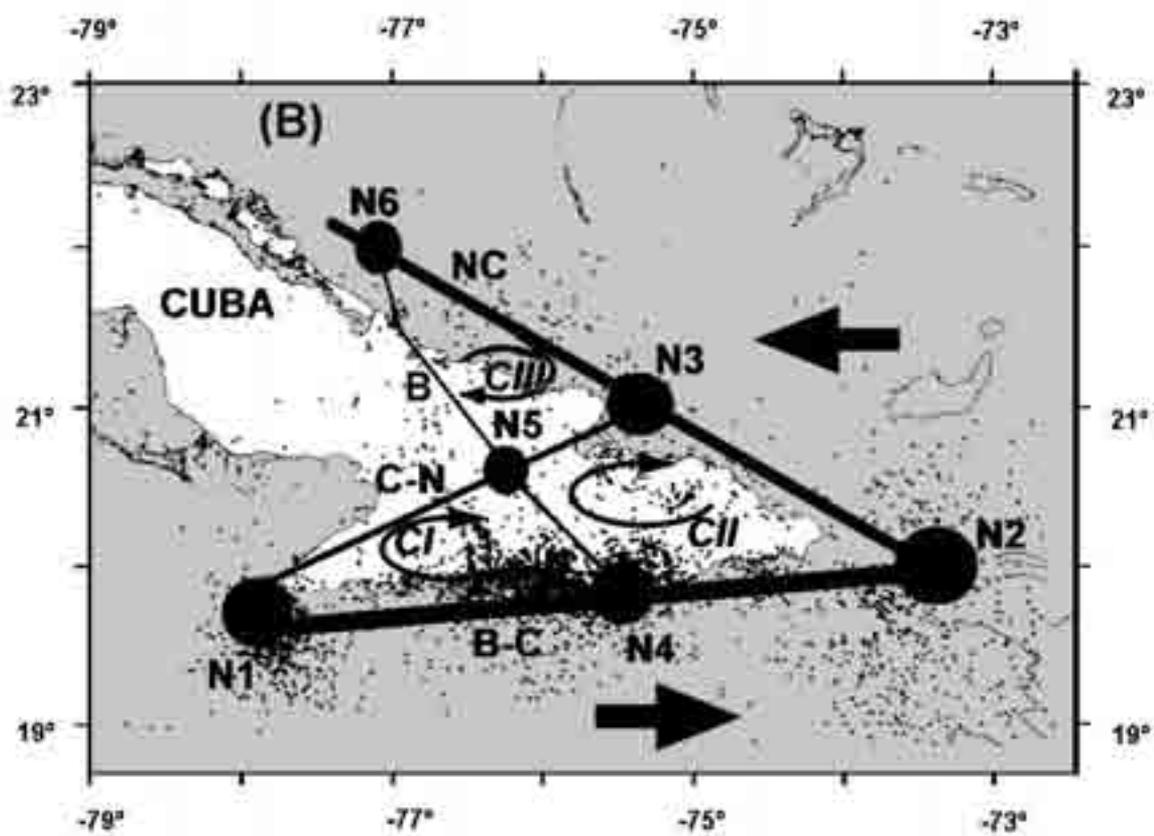
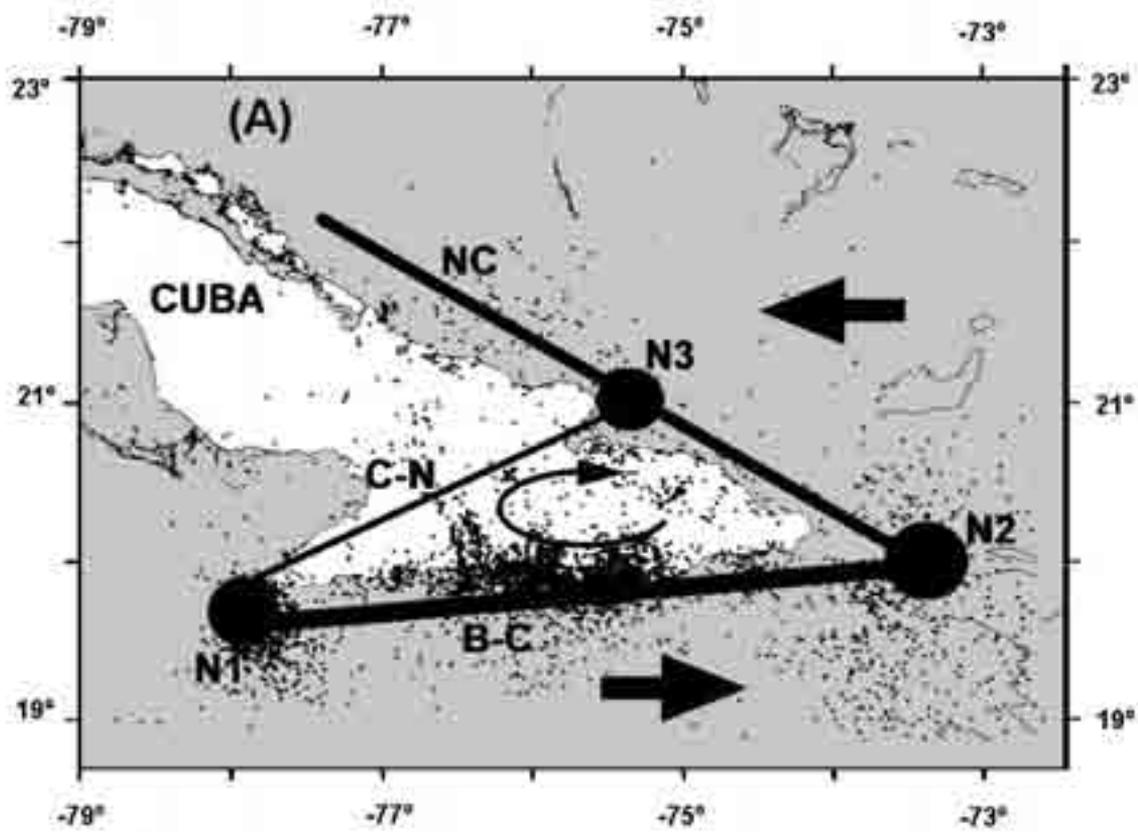
Profundidad (km)

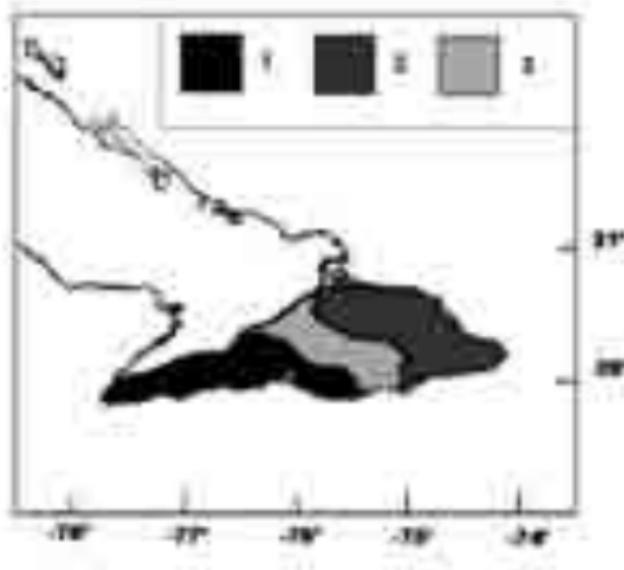














1

2

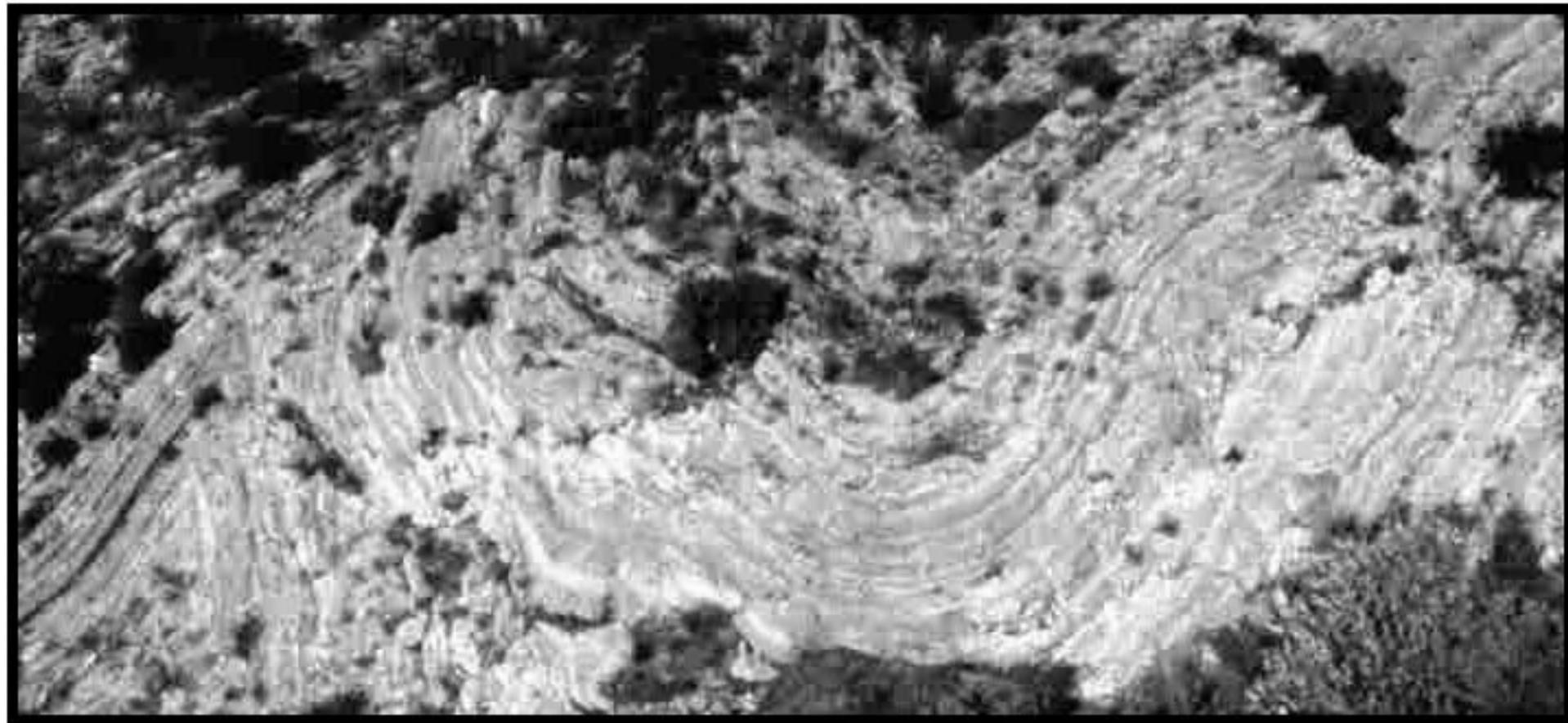




1

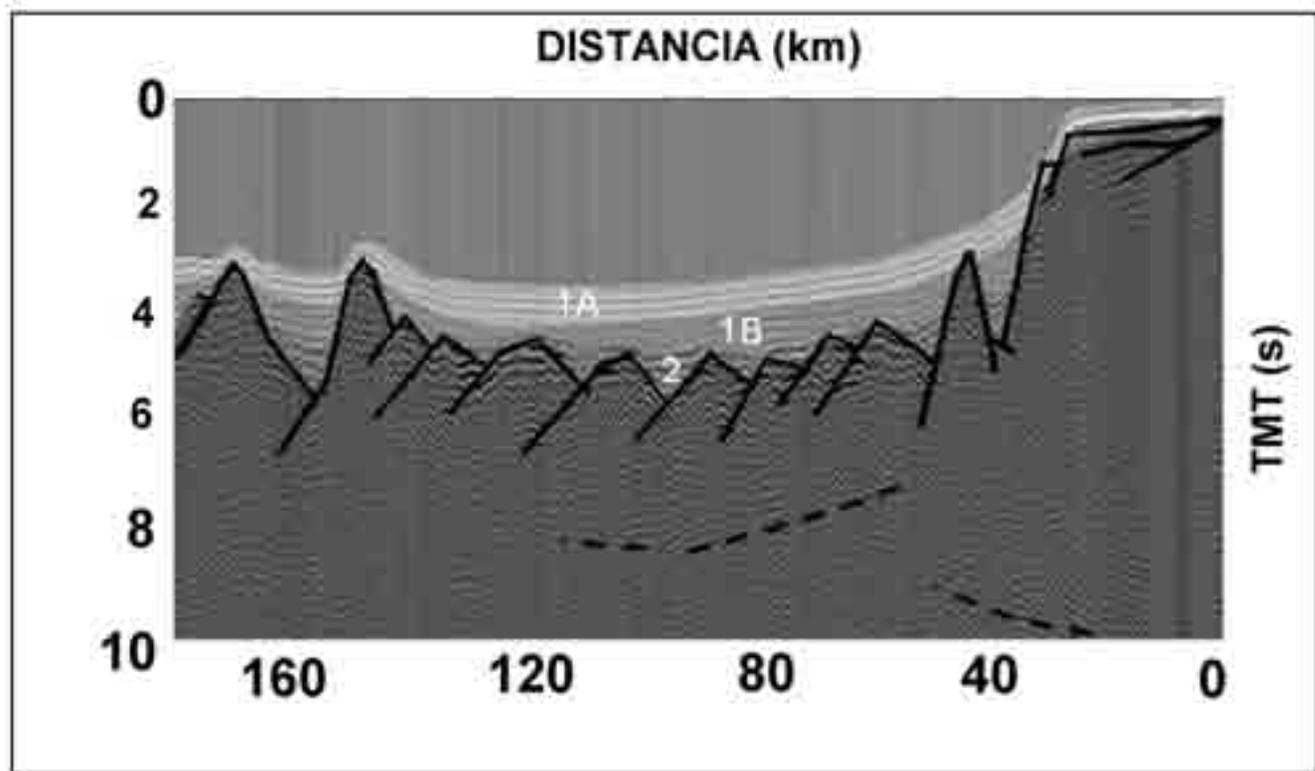
2

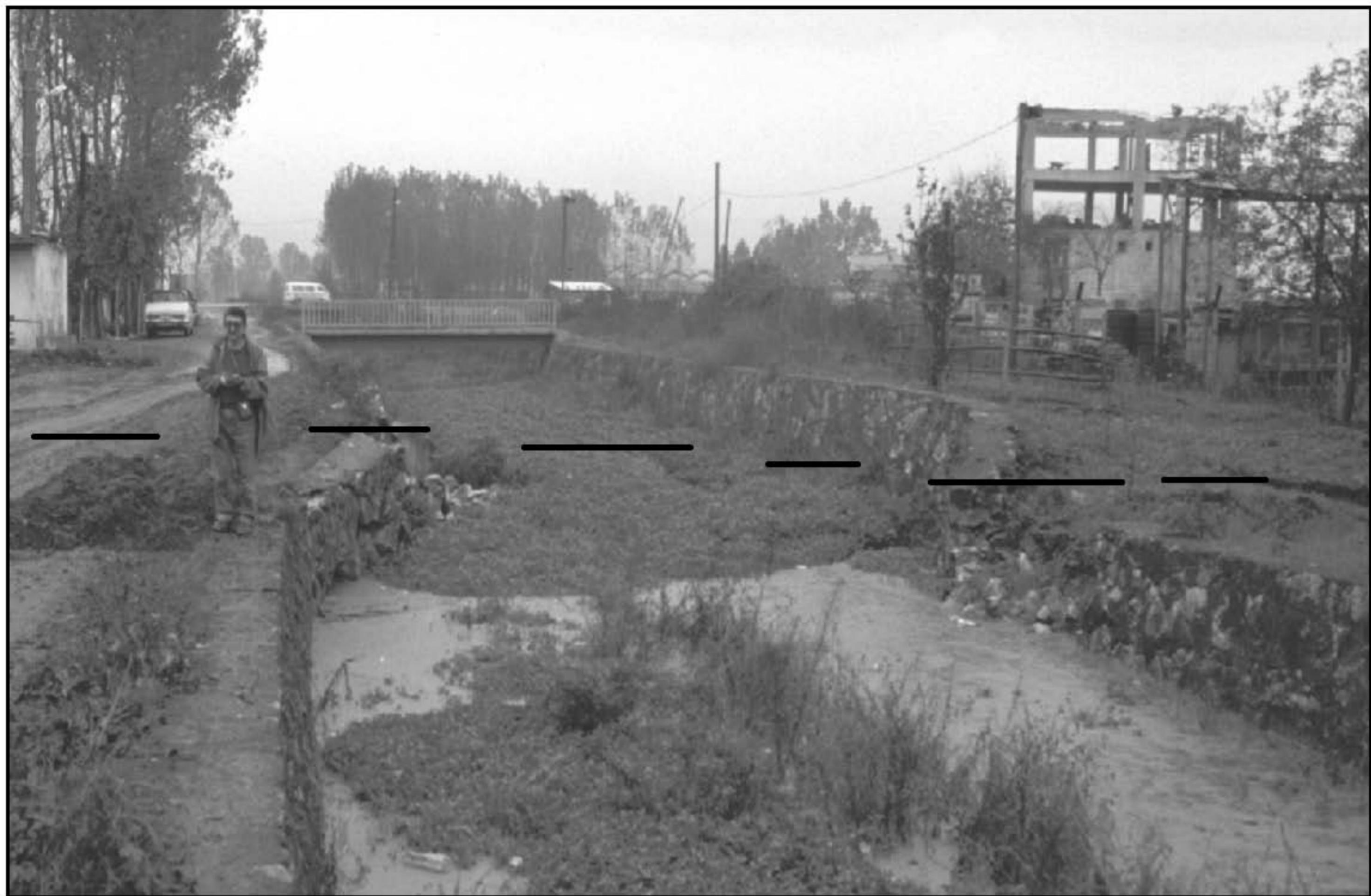




FALLA  
NORTECUBANA







**DIRECCIÓN  
DE LAS ELEVACIONES**

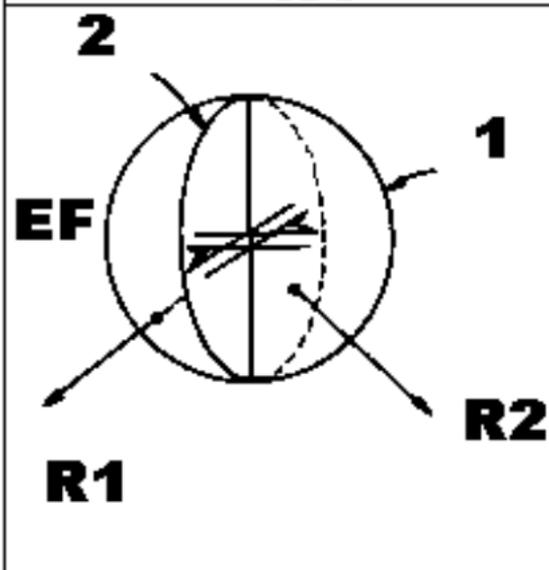
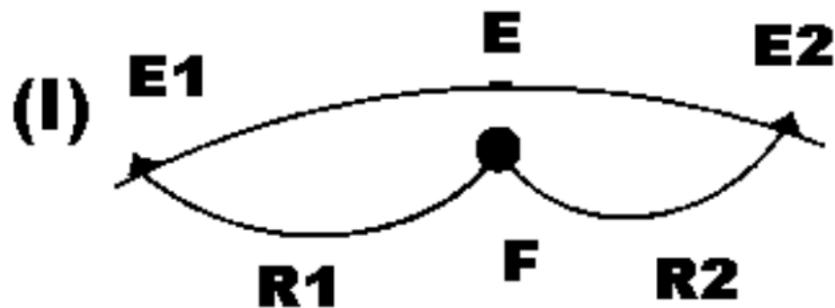
**NE**

**SW**

**BUZ**

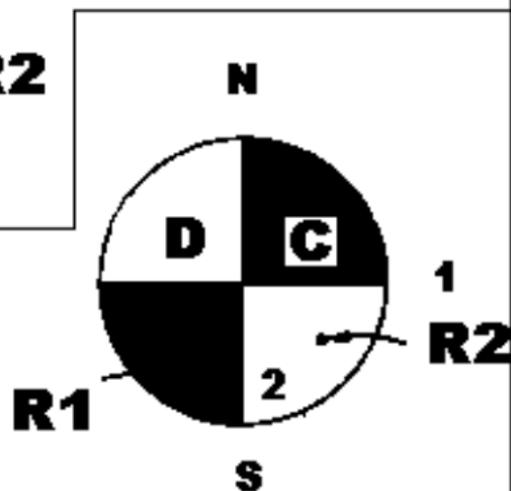
**DIRECCIÓN  
DEL VALLE**

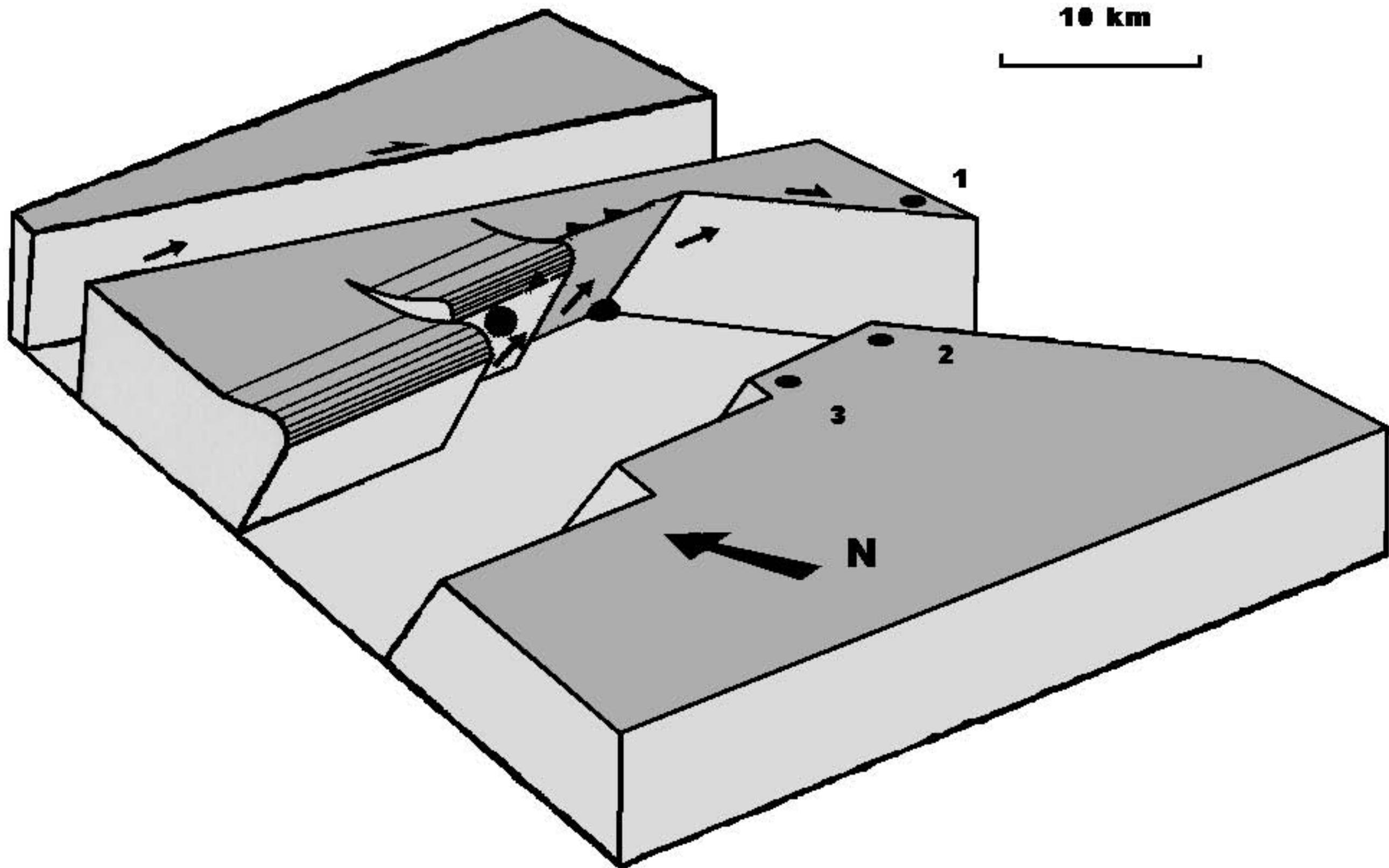


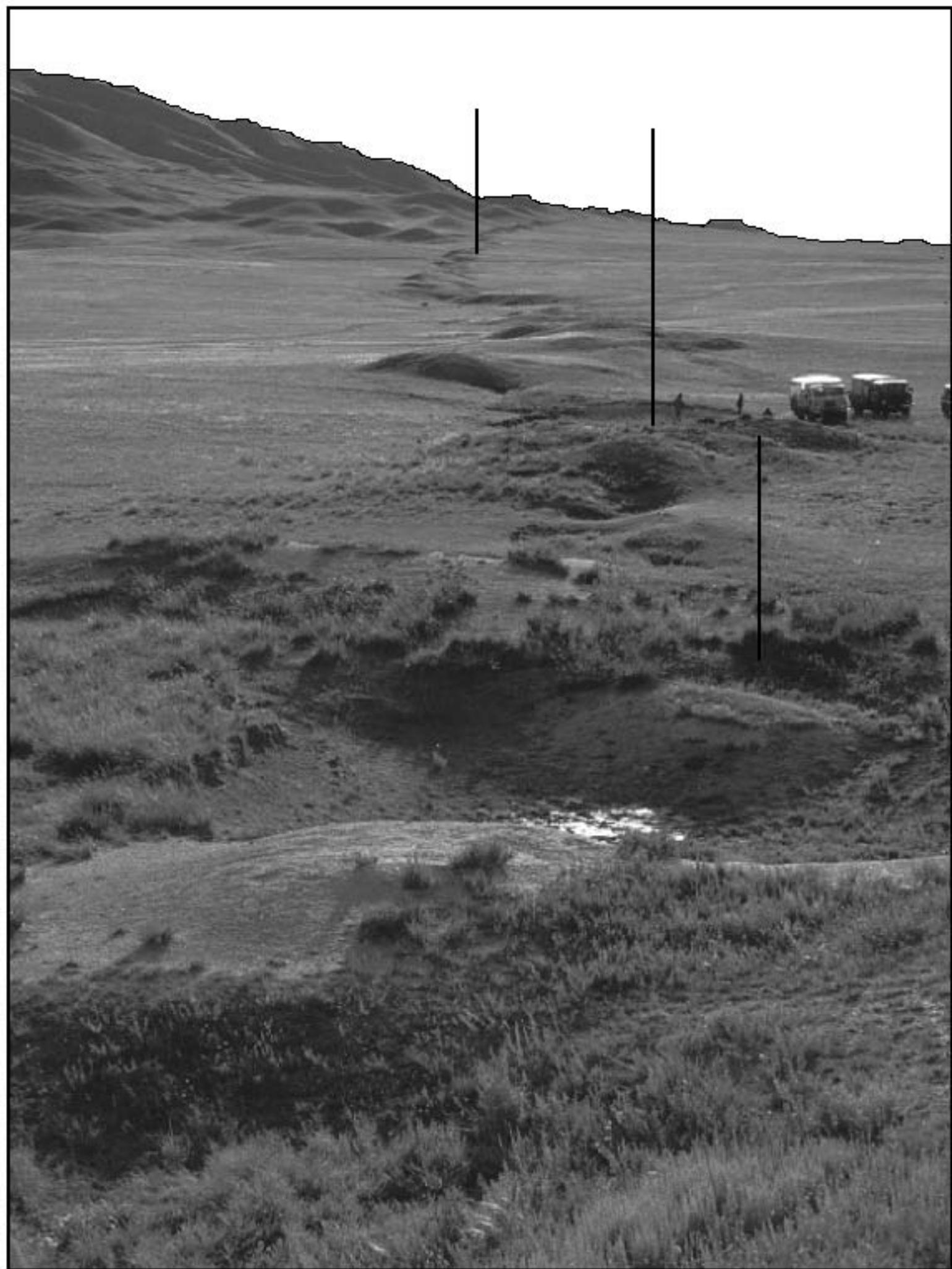


(II)

(III)







**OCEANO  
PACIFICO**

Healdsburg  
Sebastopol Santa Rosa

Olema

Hayward Fault

Calaveras Fault

San Mateo  
Stanford U.

Wright's Sta.

Stoga

San Andreas Fault

Chittendon

San  
Juan B.

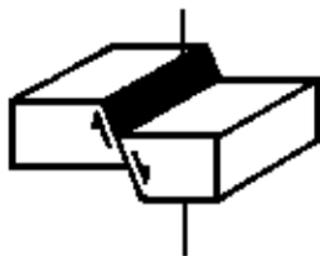
Salinas

Spreckels

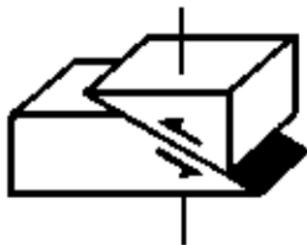
**38**

**-124**

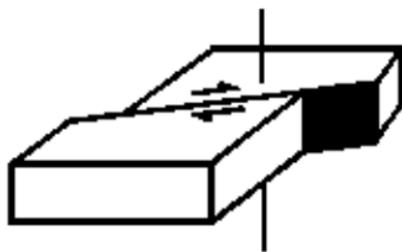
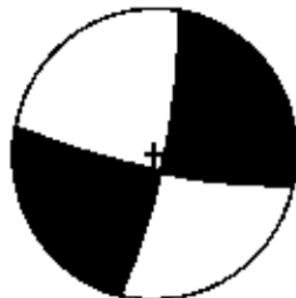
**-122**



A



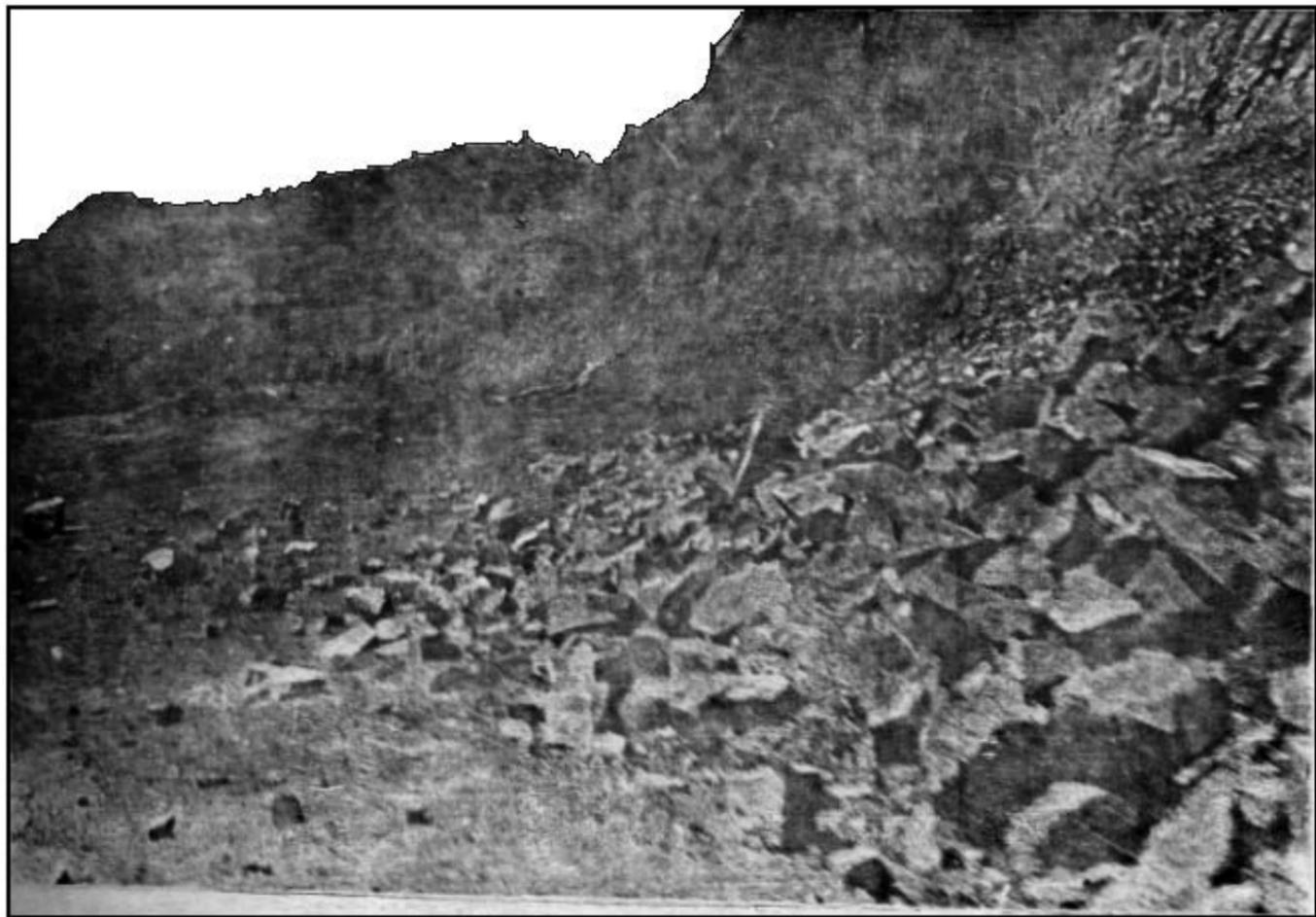
B



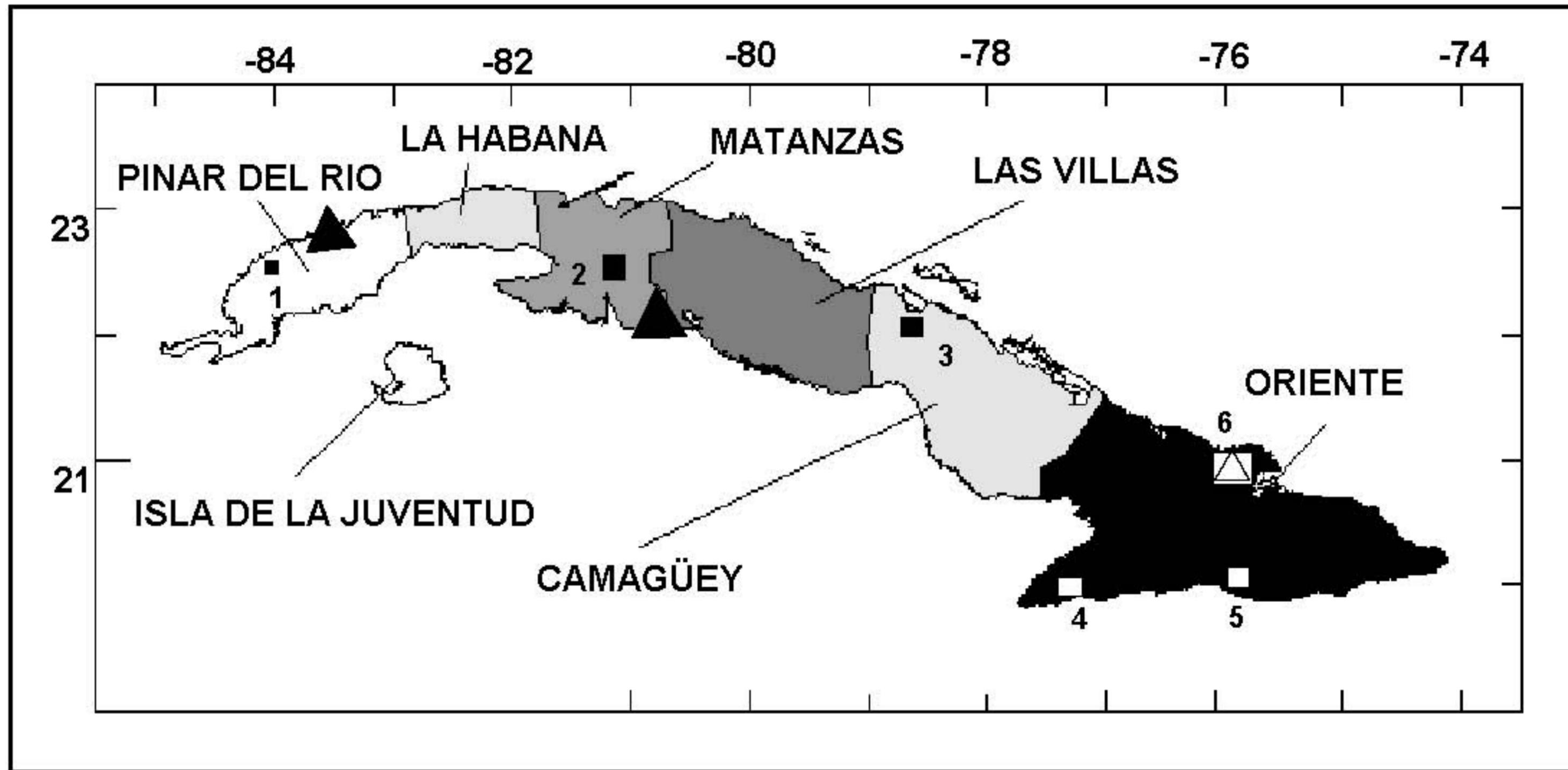
C



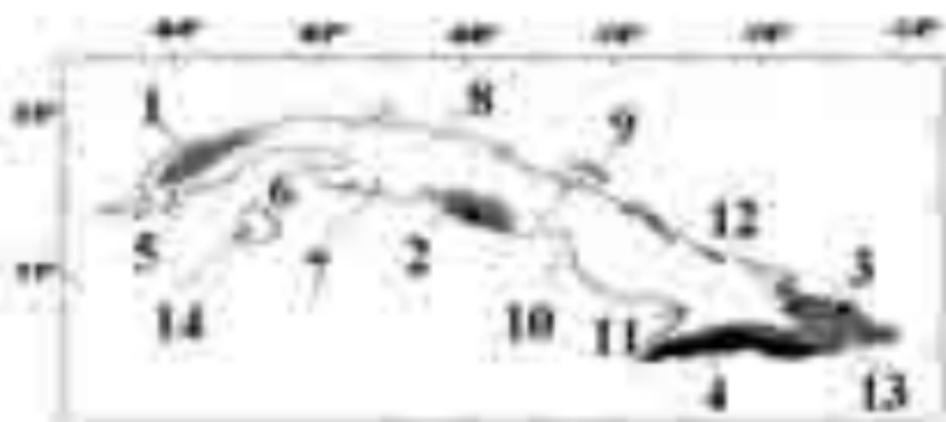


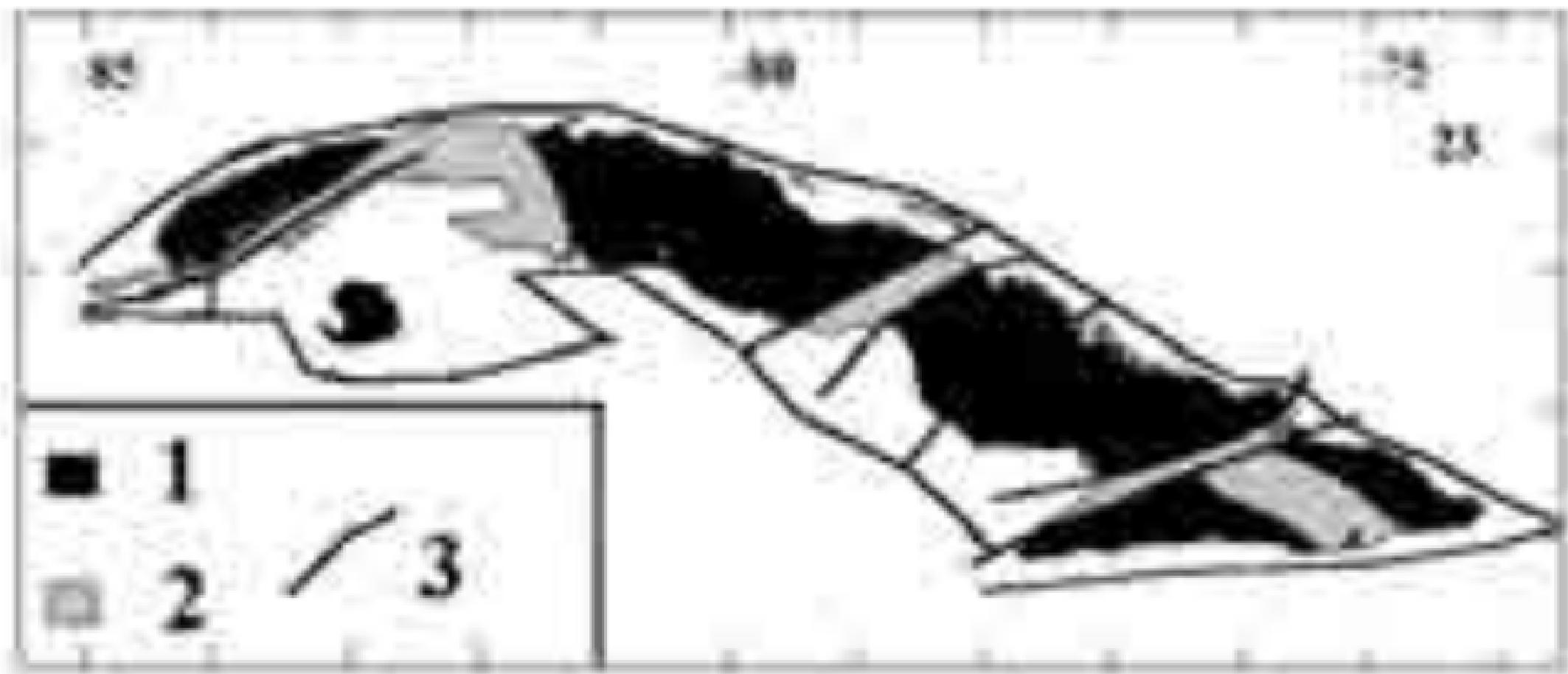


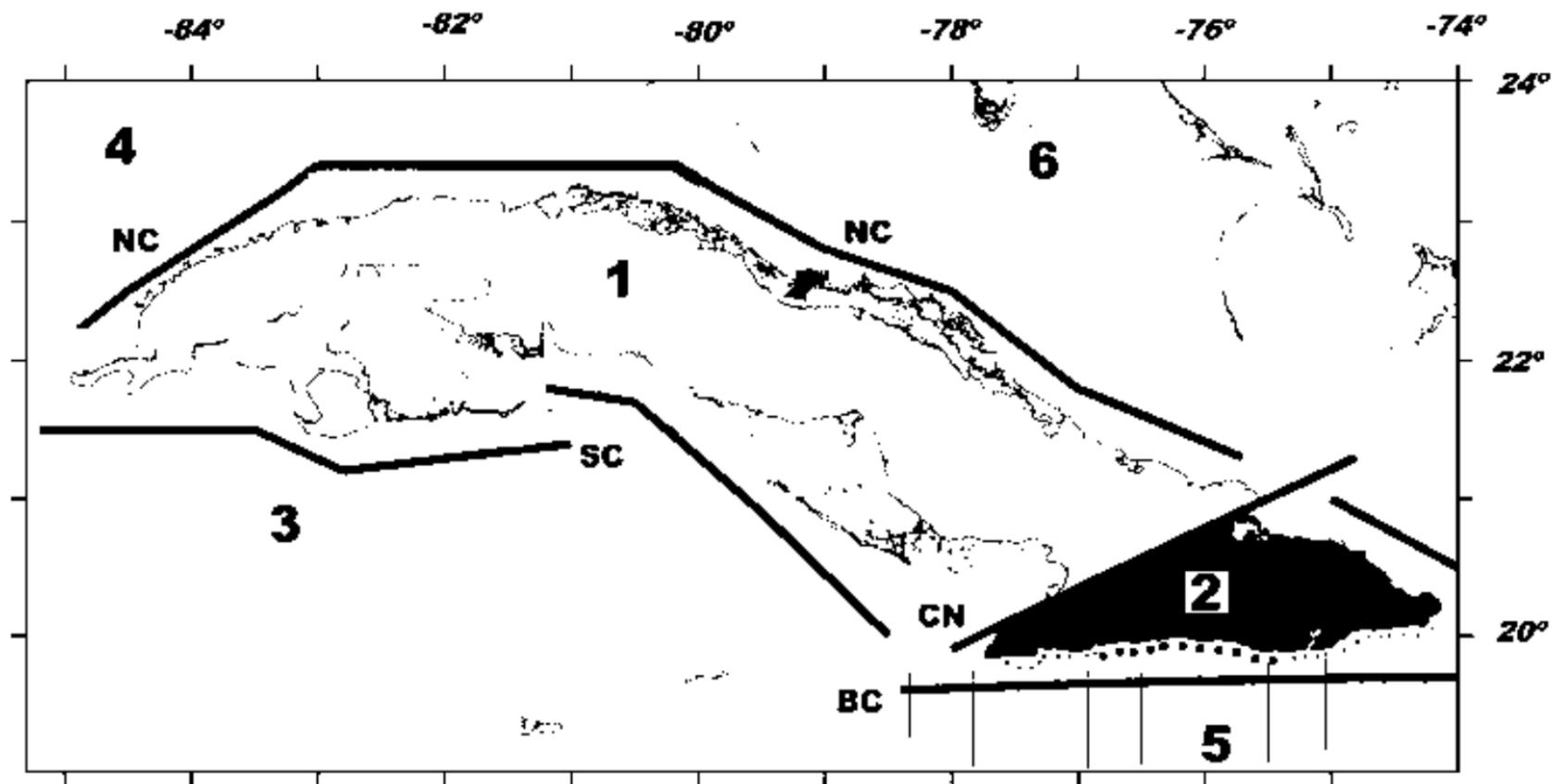


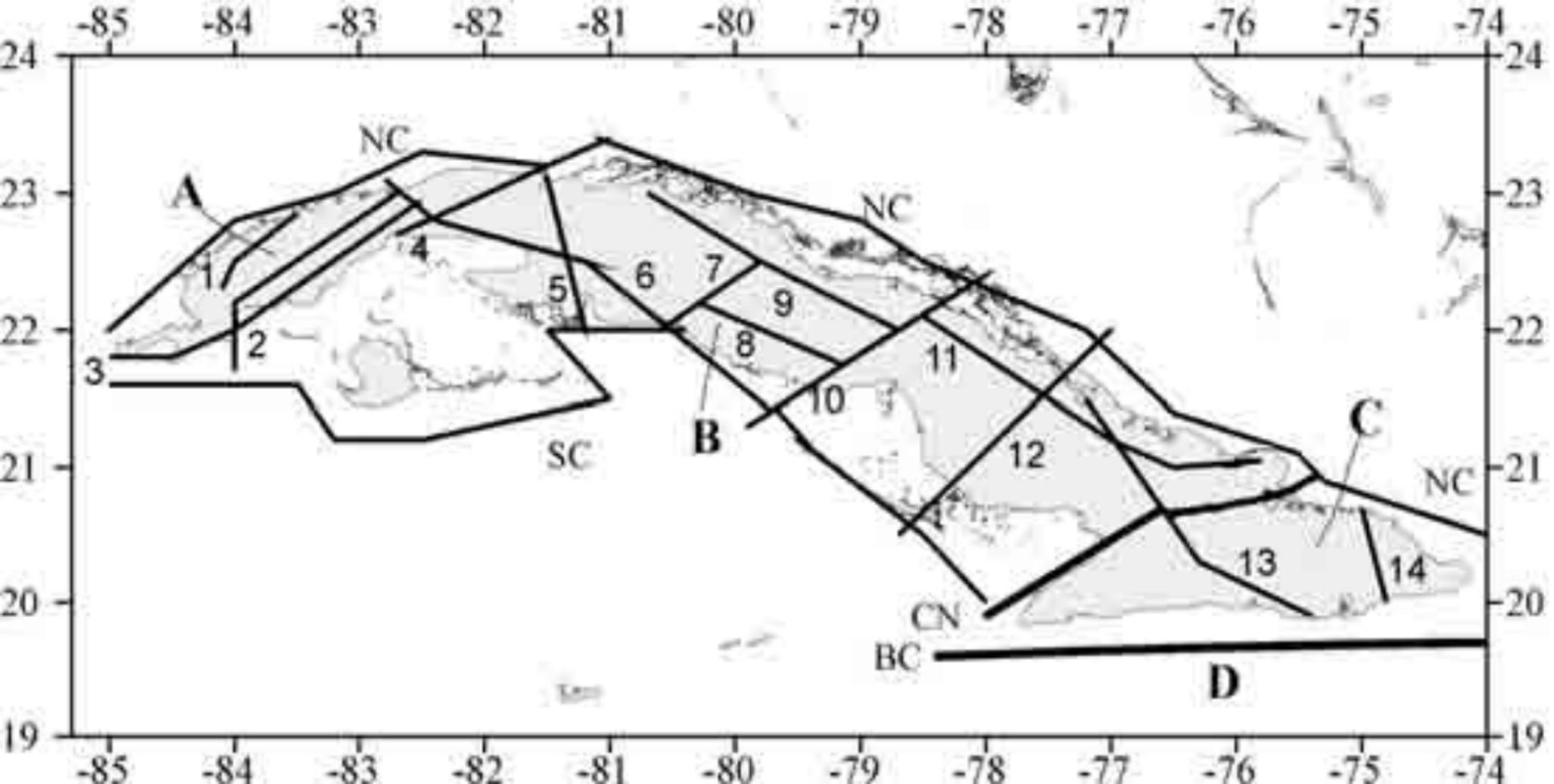


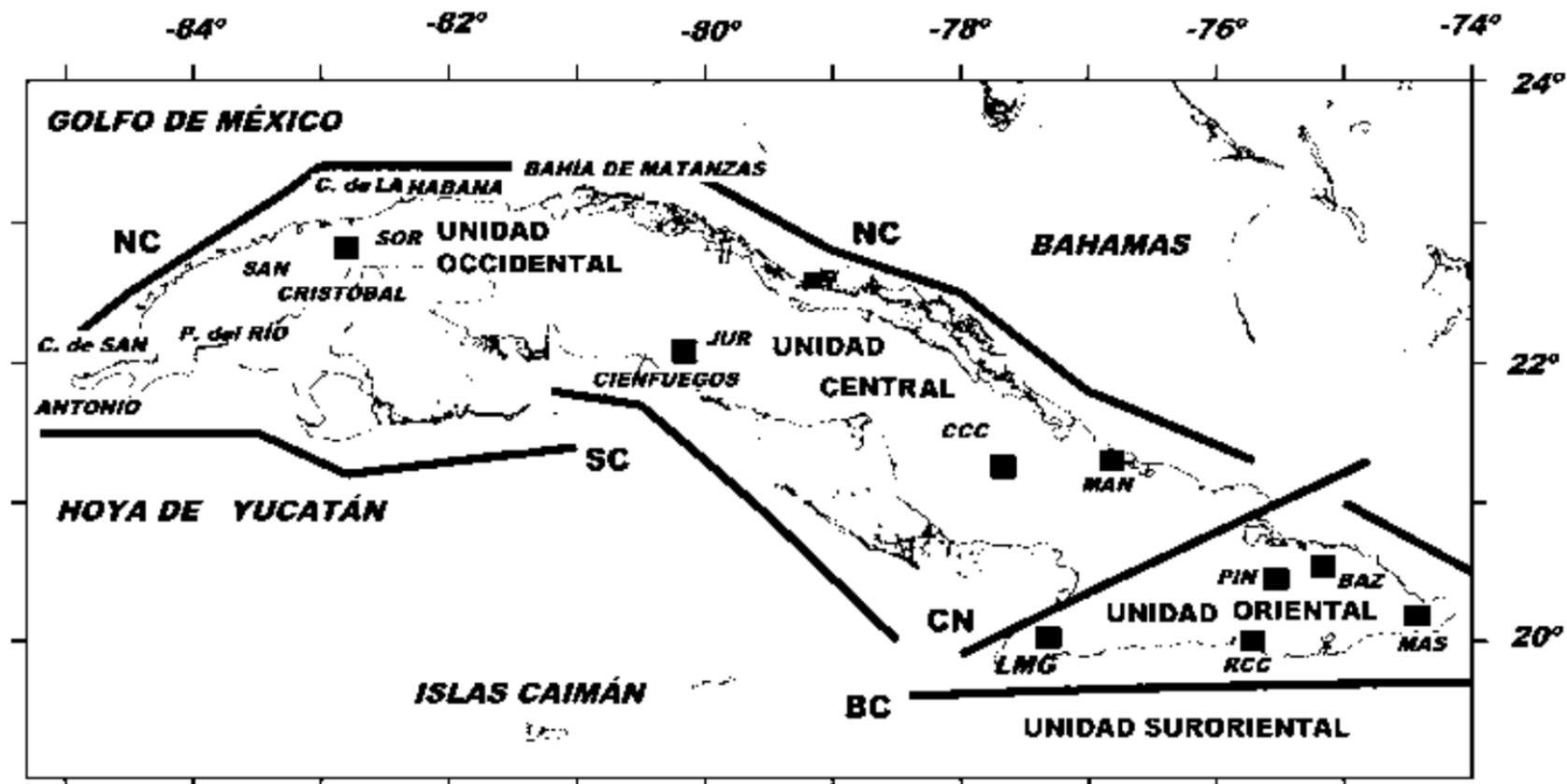


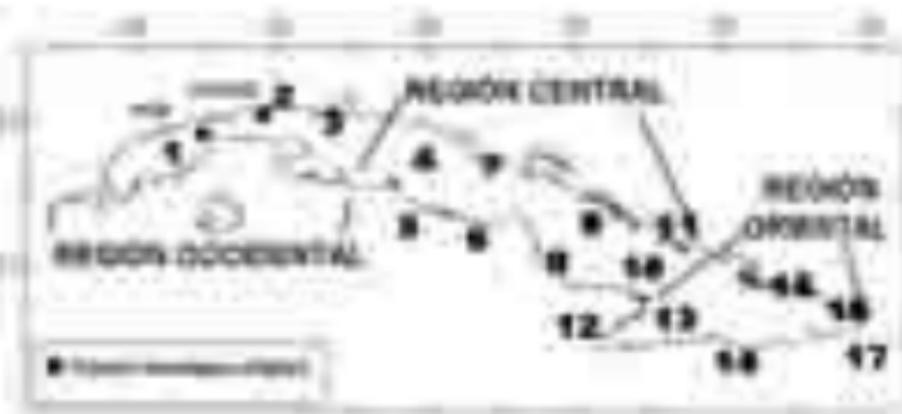








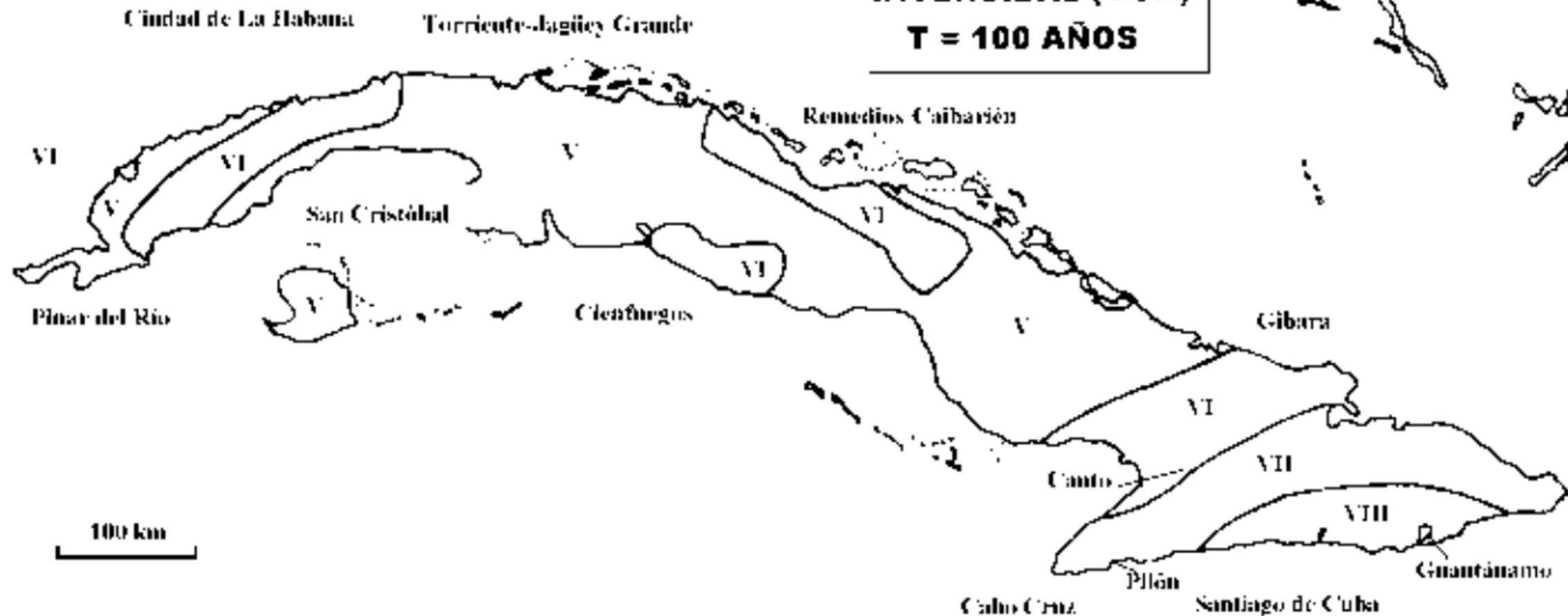


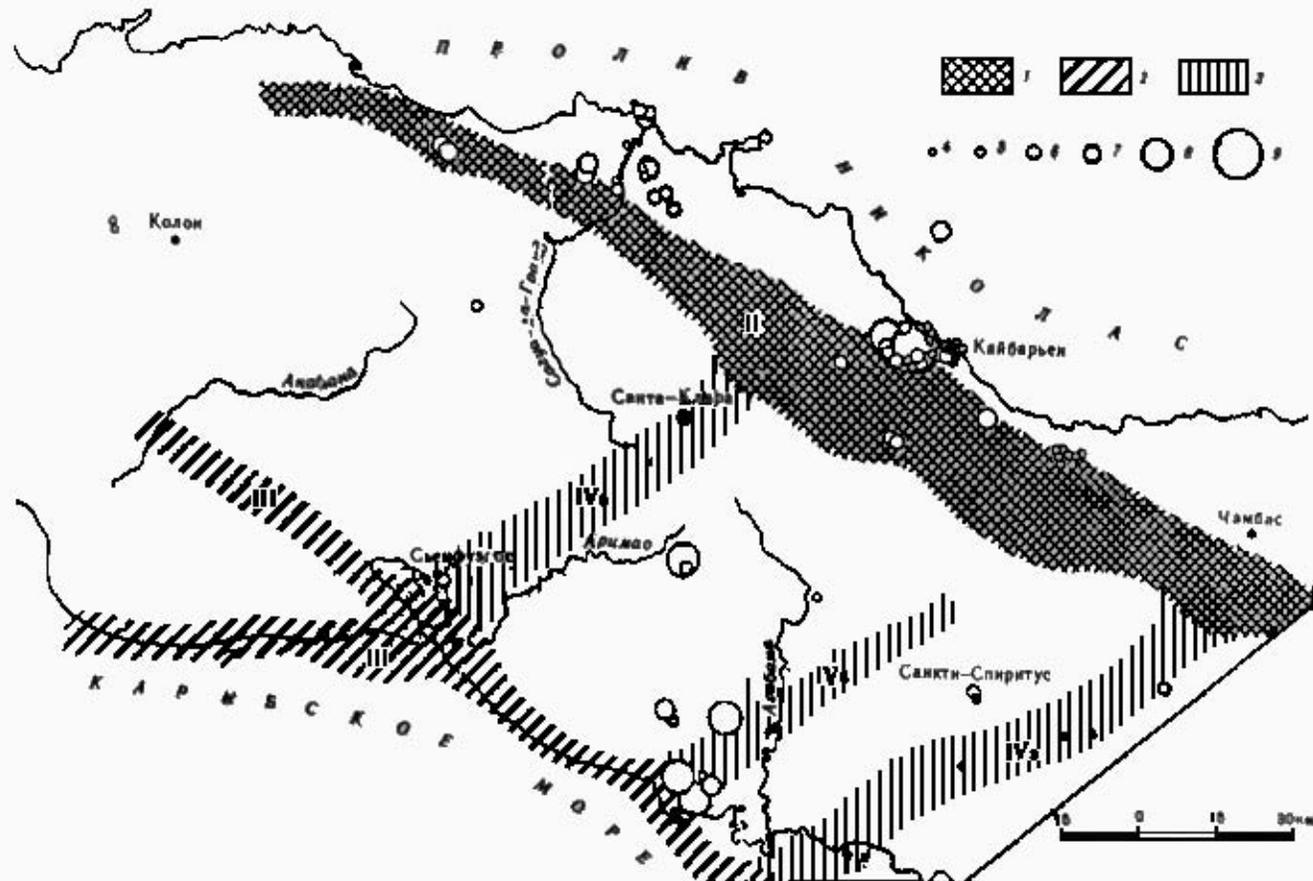


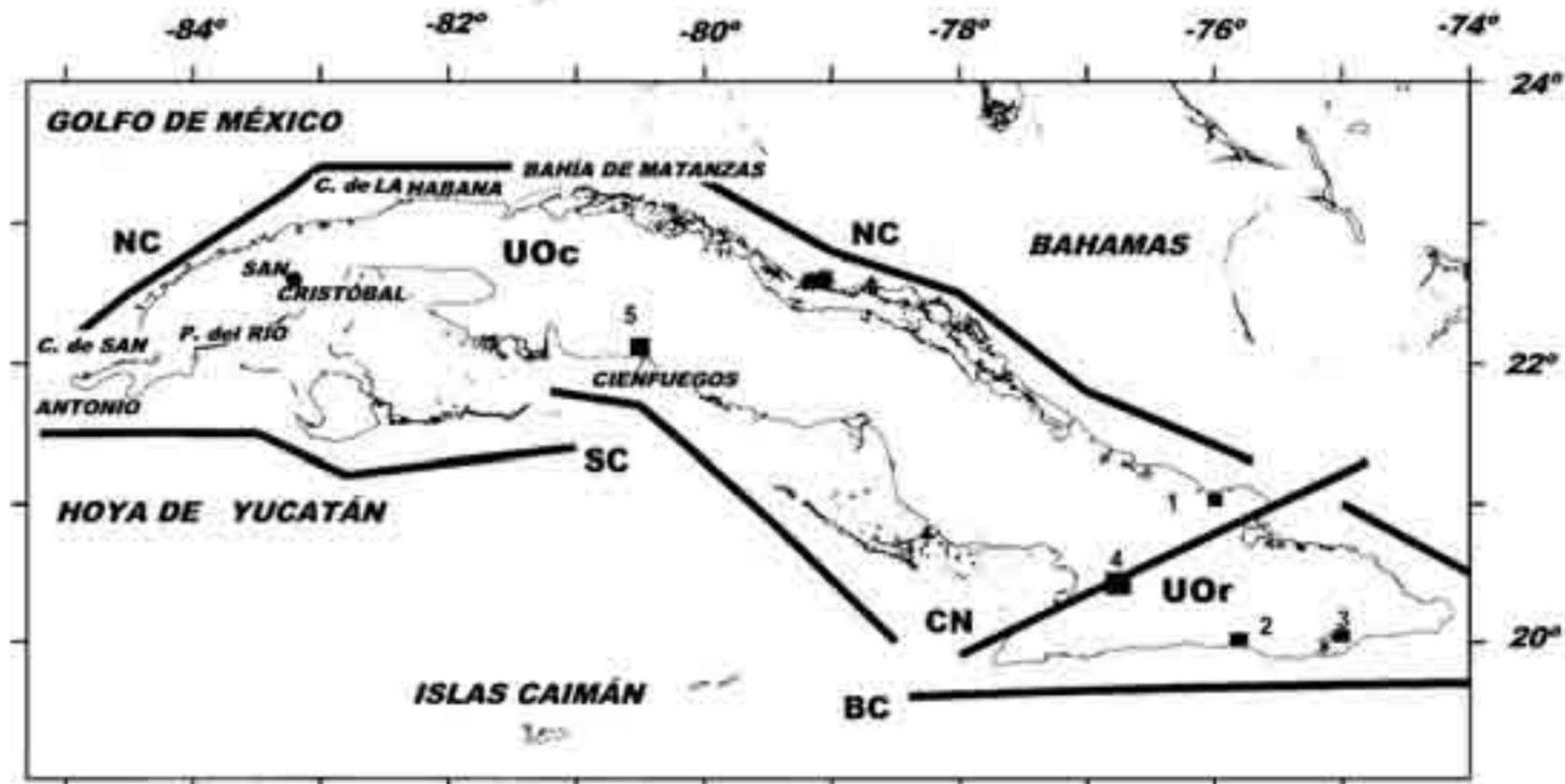




**INTENSIDAD (MSK)**  
**T = 100 AÑOS**









---

TABLEAU CHRONOLOGIQUE  
DES TREMBLEMENTS DE TERRE

RESSENTIS A L'ILE DE CUBA DE 1551 A 1855.

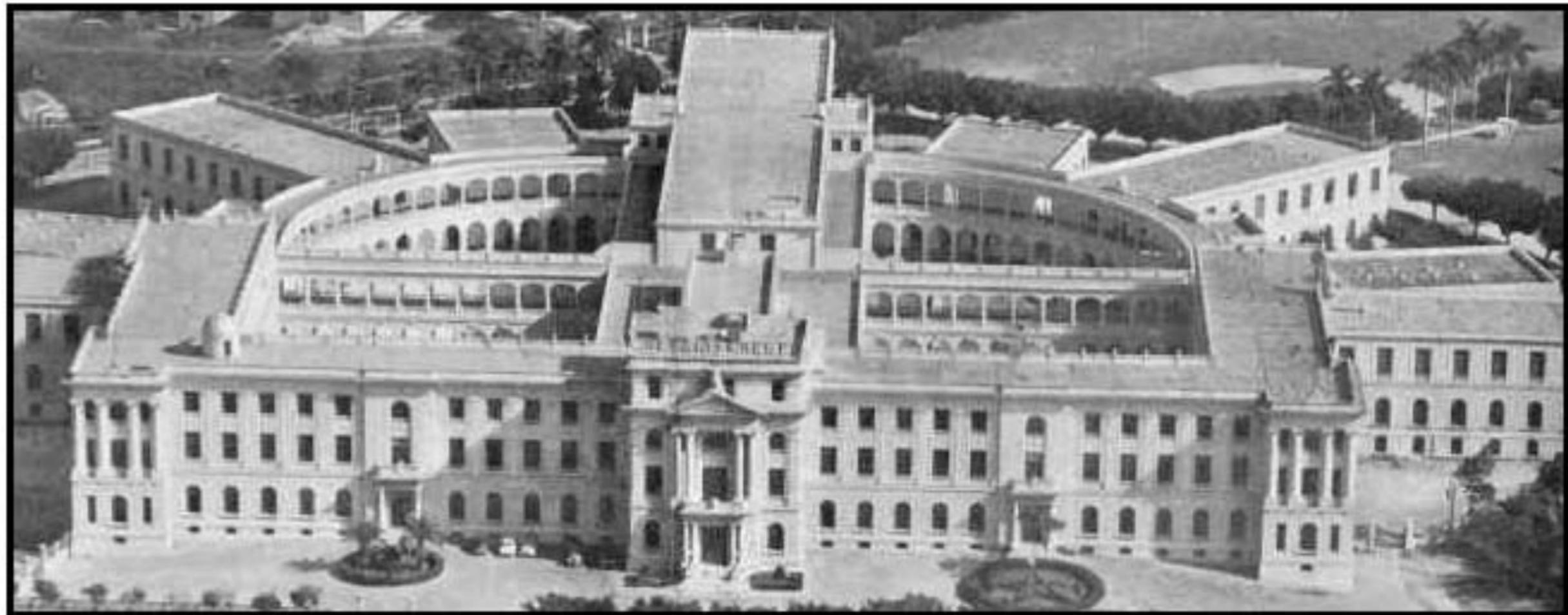
Par ANDRÉ POEY, de la Havane.

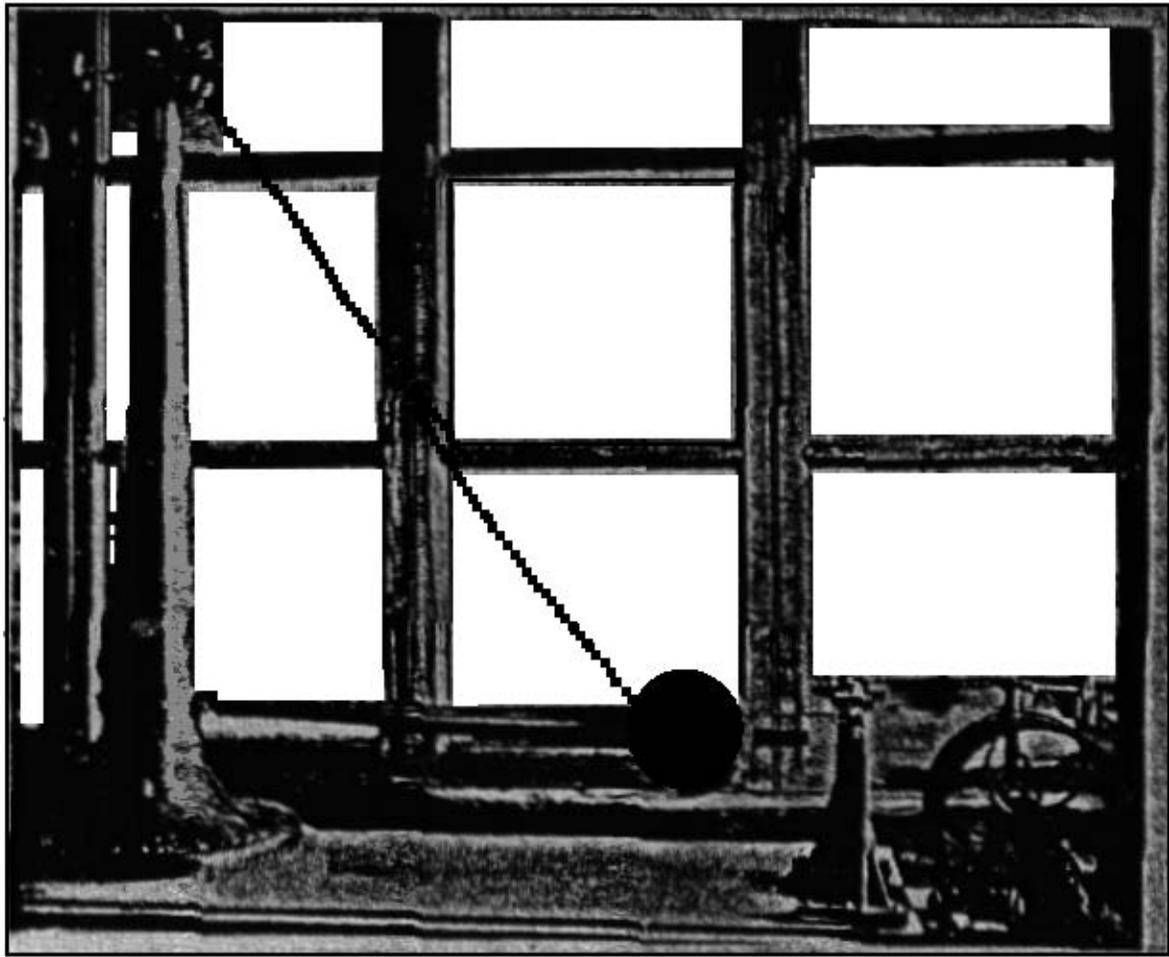
---

Jusqu'à ce jour on ne connaissait pour Cuba que les cas de tremblements de terre que M. Alexis Perrey a enregistrés dans son mémoire sur les tremblements de terre aux Antilles, et d'autres cas que l'on trouve indiqués dans diverses publications faites à Cuba. Mais il manquait un catalogue chronologique de toutes les secousses ressenties pendant une longue période et dont on avait connaissance.

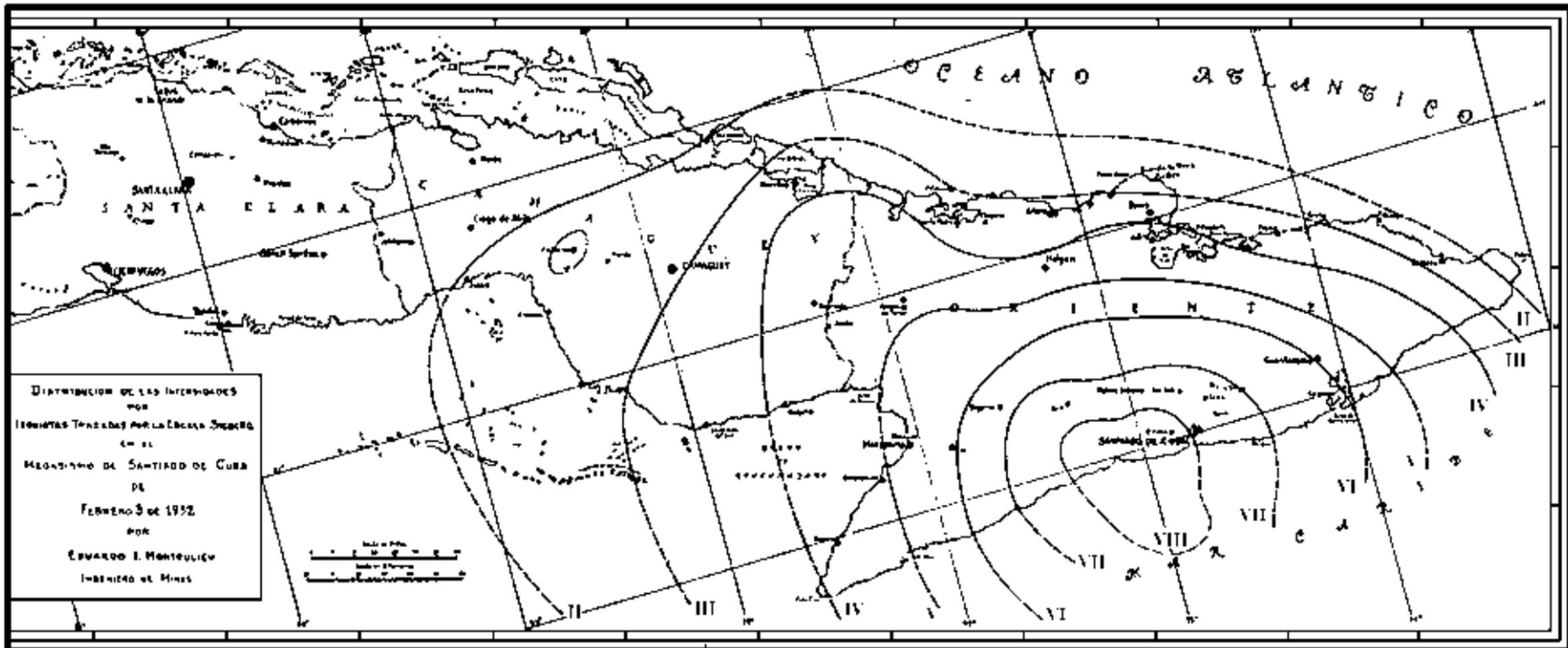
C'est pour combler jusqu'à un certain point cette lacune que je publie les documents que j'ai pu recueillir sur les tremblements qui eurent lieu depuis une époque reculée jusqu'à nos jours, surtout dans la juridiction de Santiago de Cuba qui occupe l'extrémité orientale de l'île. Ce travail a donc deux buts principaux. Le premier est de contribuer à compléter autant que possible les catalogues, déjà si nombreux, que le savant professeur de Dijon,





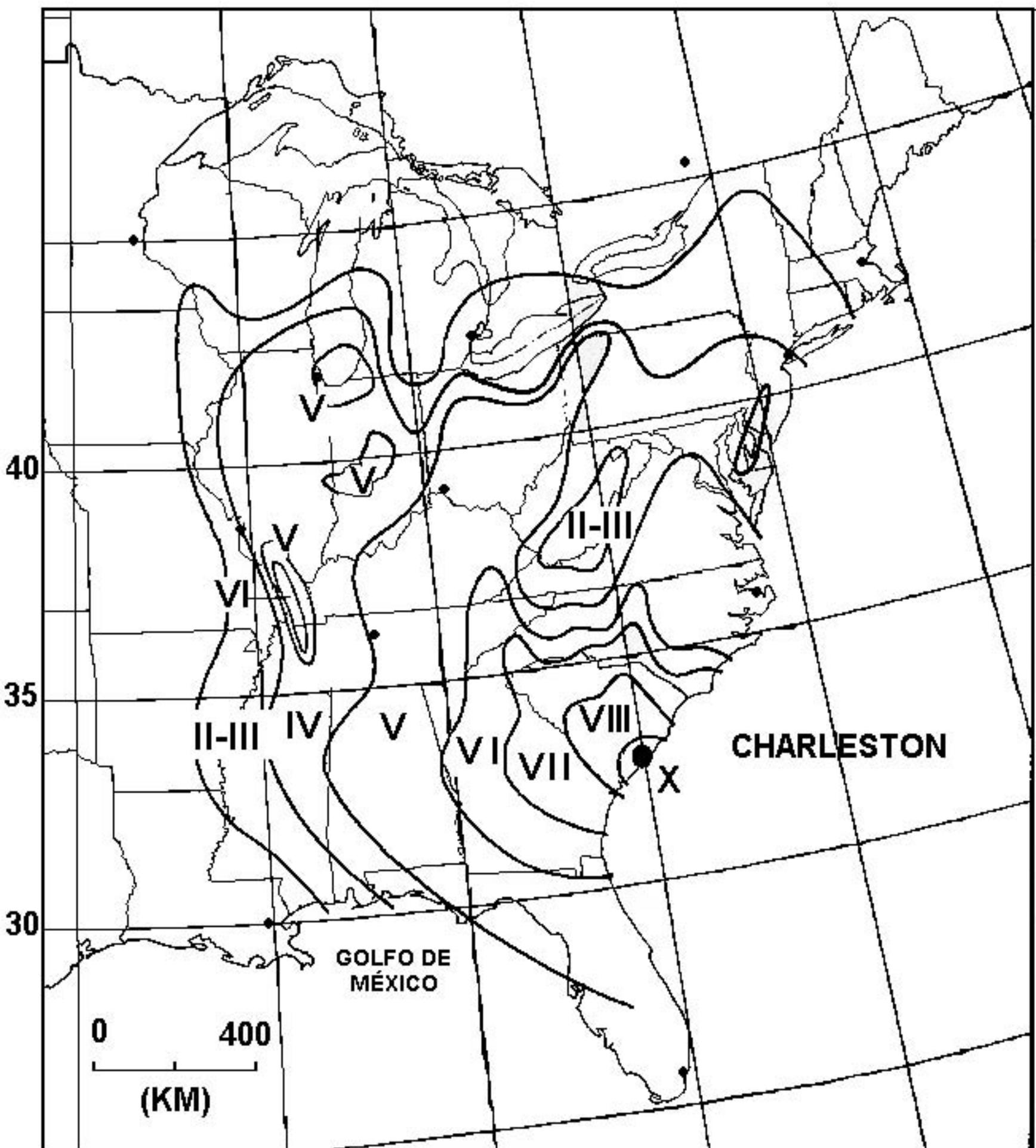


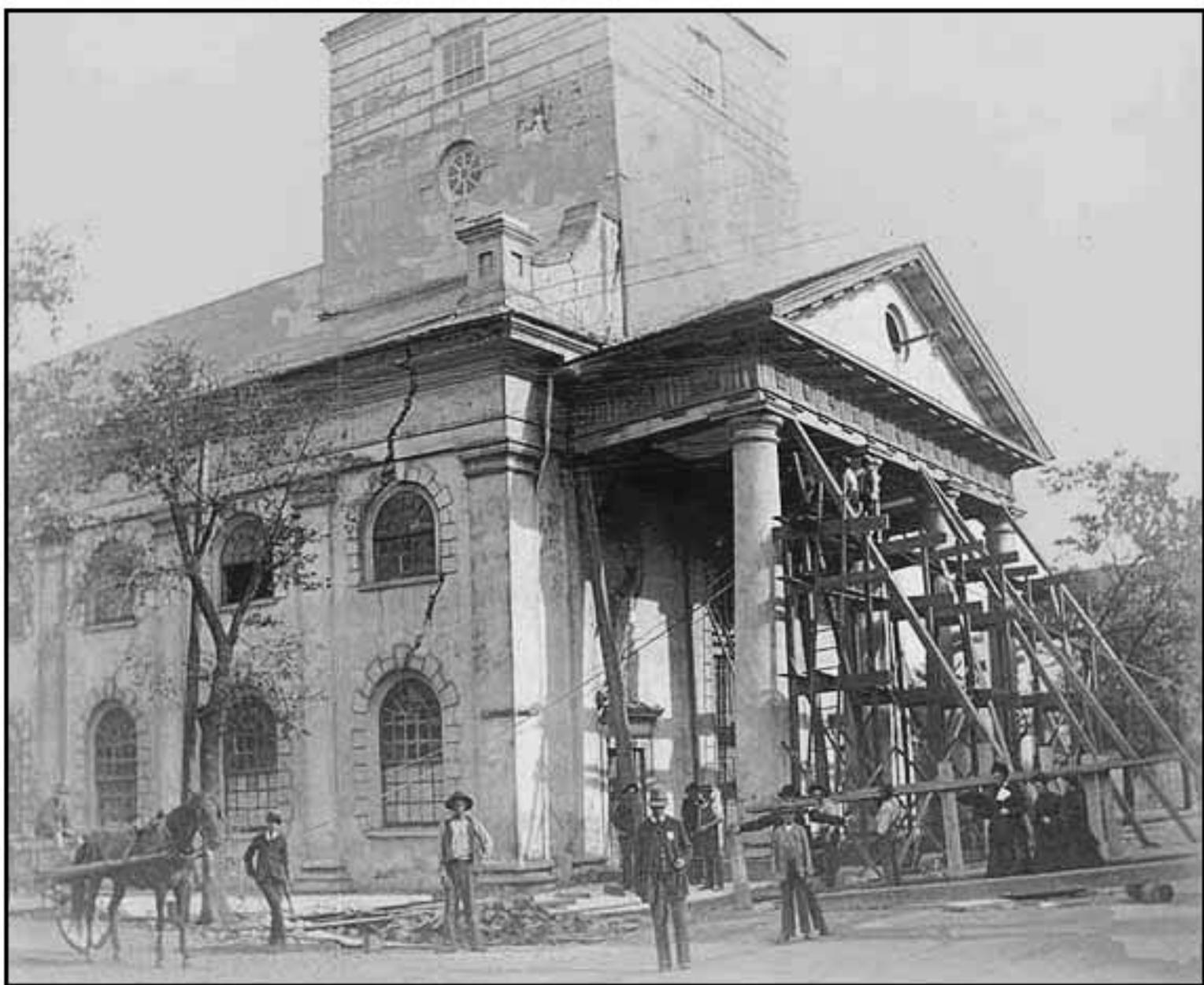








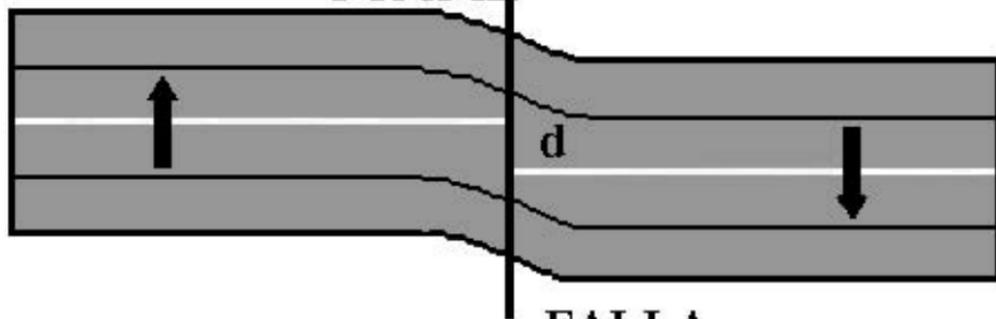




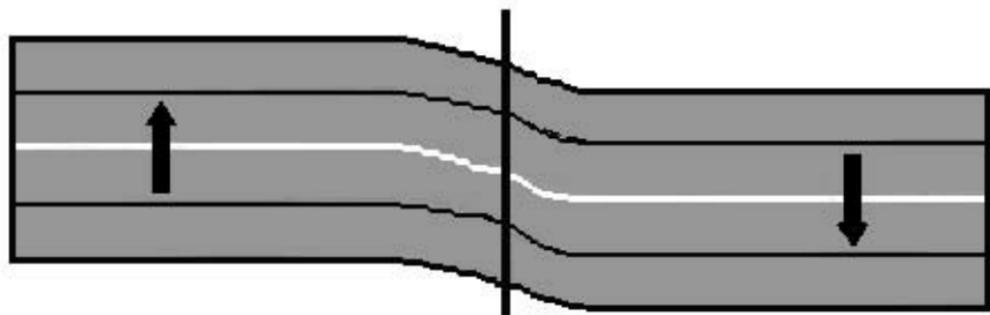
O

E

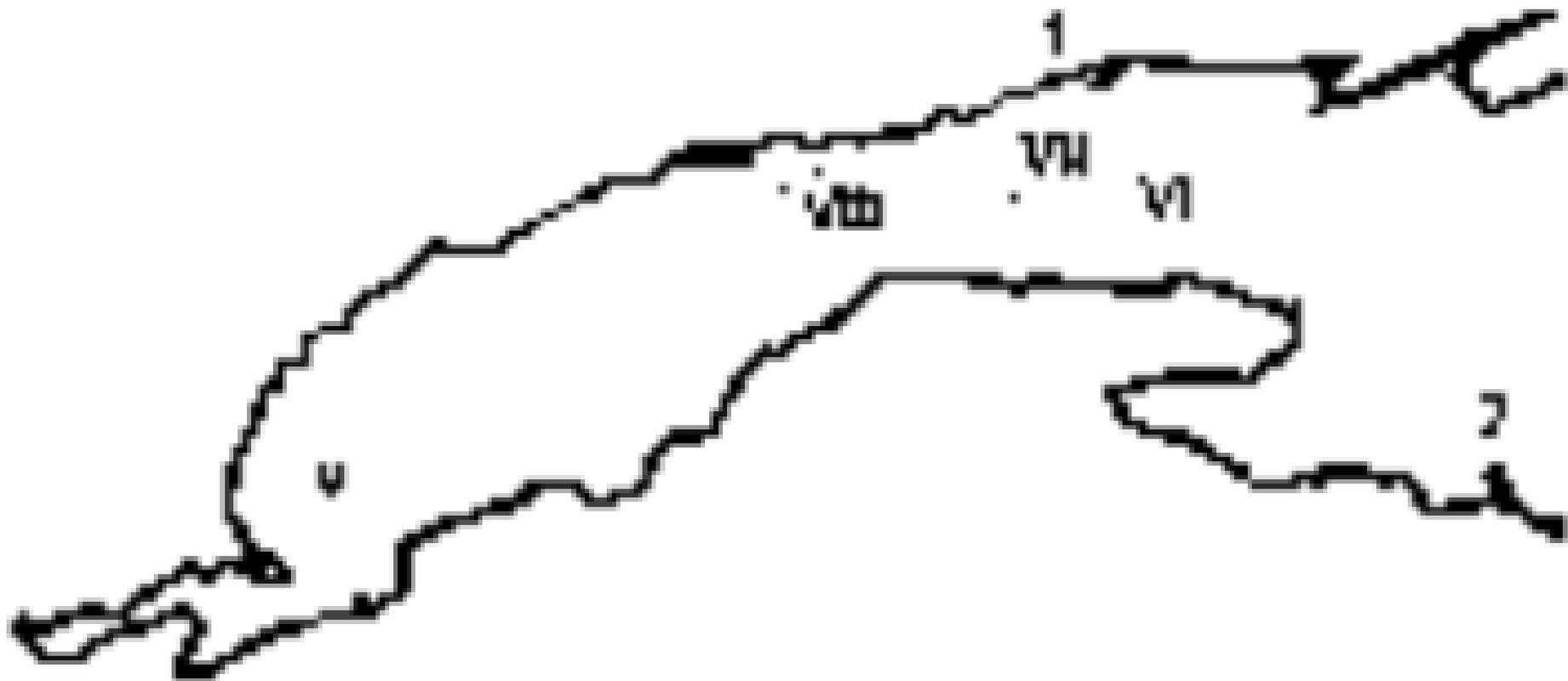
FINAL

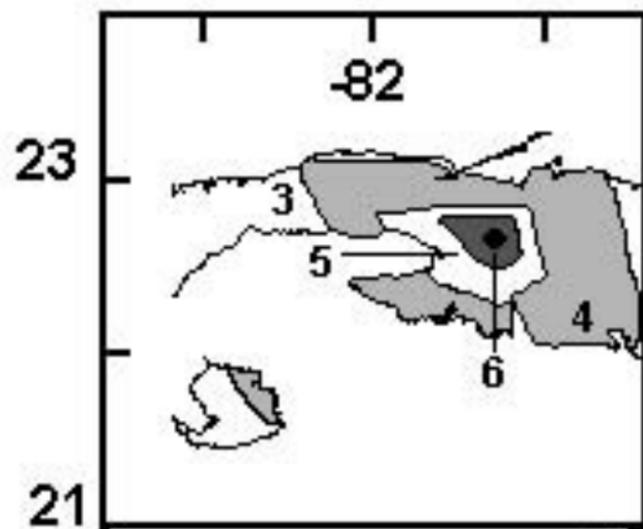


FALLA



INICIAL







# SISMOLOGIA DE LA REGION ORIENTAL

## EL MACROSISMO DEL 27 DE FEBRERO PROXIMO PASADO

El día de ayer se comprobó en todas las estaciones de la zona que el terremoto del 27 de febrero próximo pasado fue un fenómeno de gran intensidad y que se propagó en todas las direcciones. El día de ayer se comprobó en todas las estaciones de la zona que el terremoto del 27 de febrero próximo pasado fue un fenómeno de gran intensidad y que se propagó en todas las direcciones.

El día de ayer se comprobó en todas las estaciones de la zona que el terremoto del 27 de febrero próximo pasado fue un fenómeno de gran intensidad y que se propagó en todas las direcciones. El día de ayer se comprobó en todas las estaciones de la zona que el terremoto del 27 de febrero próximo pasado fue un fenómeno de gran intensidad y que se propagó en todas las direcciones.

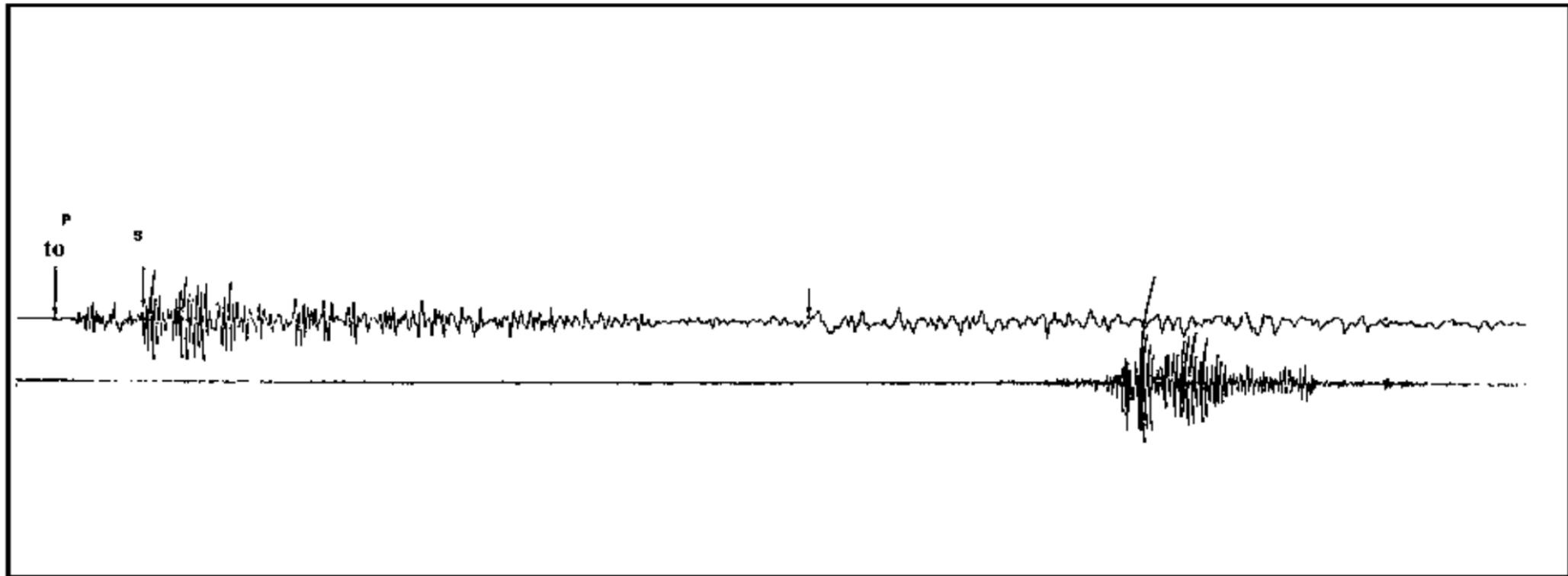
El día de ayer se comprobó en todas las estaciones de la zona que el terremoto del 27 de febrero próximo pasado fue un fenómeno de gran intensidad y que se propagó en todas las direcciones. El día de ayer se comprobó en todas las estaciones de la zona que el terremoto del 27 de febrero próximo pasado fue un fenómeno de gran intensidad y que se propagó en todas las direcciones.



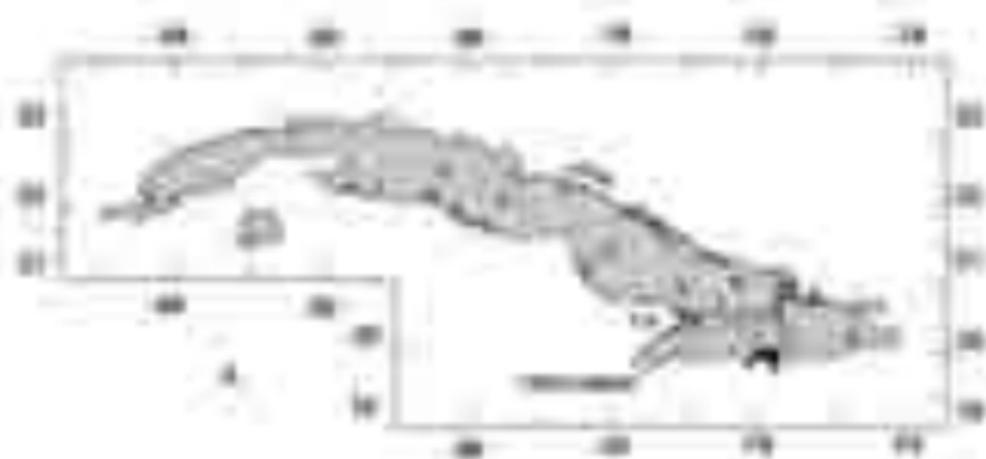
El día de ayer se comprobó en todas las estaciones de la zona que el terremoto del 27 de febrero próximo pasado fue un fenómeno de gran intensidad y que se propagó en todas las direcciones. El día de ayer se comprobó en todas las estaciones de la zona que el terremoto del 27 de febrero próximo pasado fue un fenómeno de gran intensidad y que se propagó en todas las direcciones.

Grupos de sismogramas obtenidos con el mismo aparato durante el terremoto y grupo de esta clase de sismogramas.

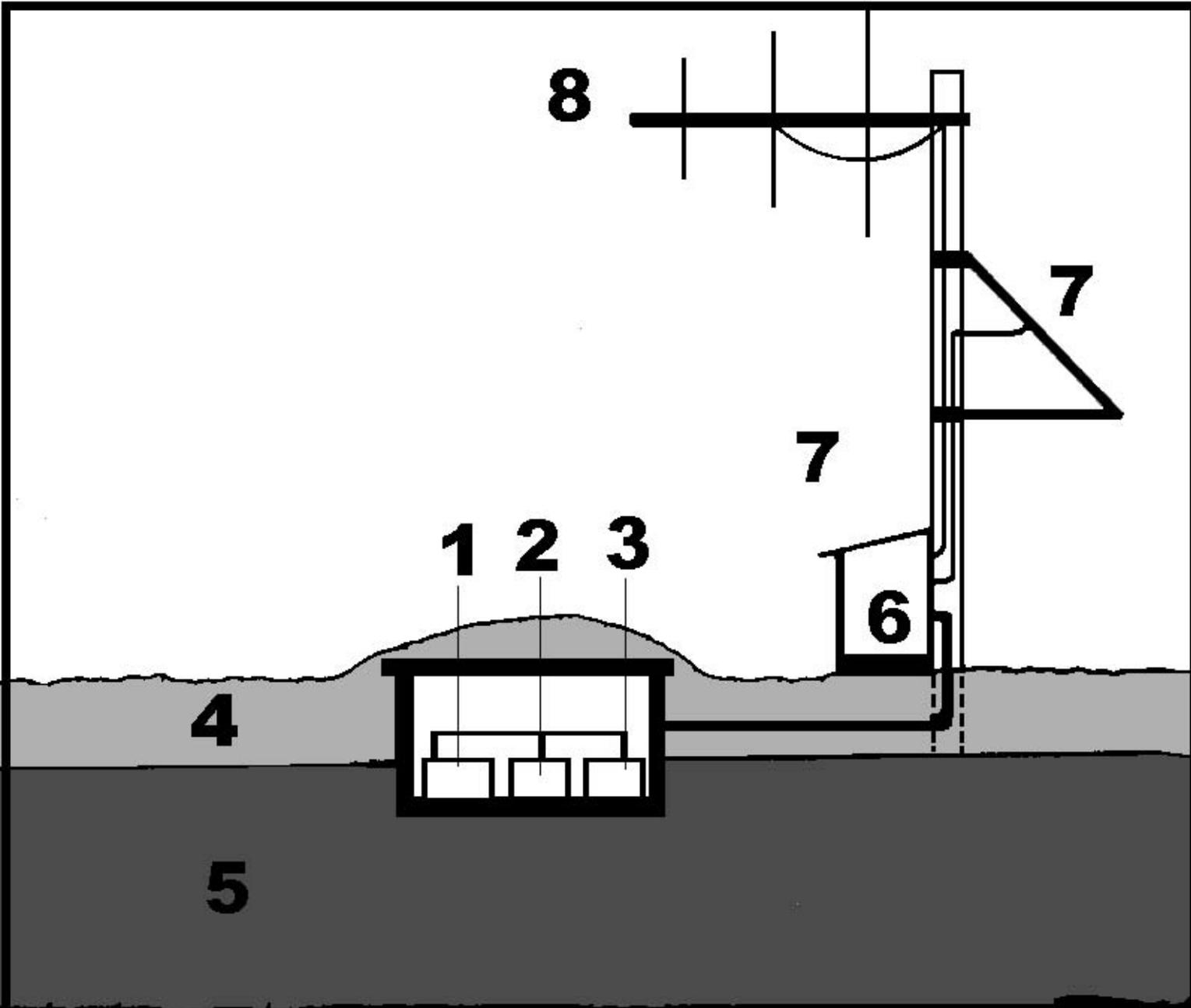
Grupos de sismogramas obtenidos con el mismo aparato durante el terremoto y grupo de esta clase de sismogramas.

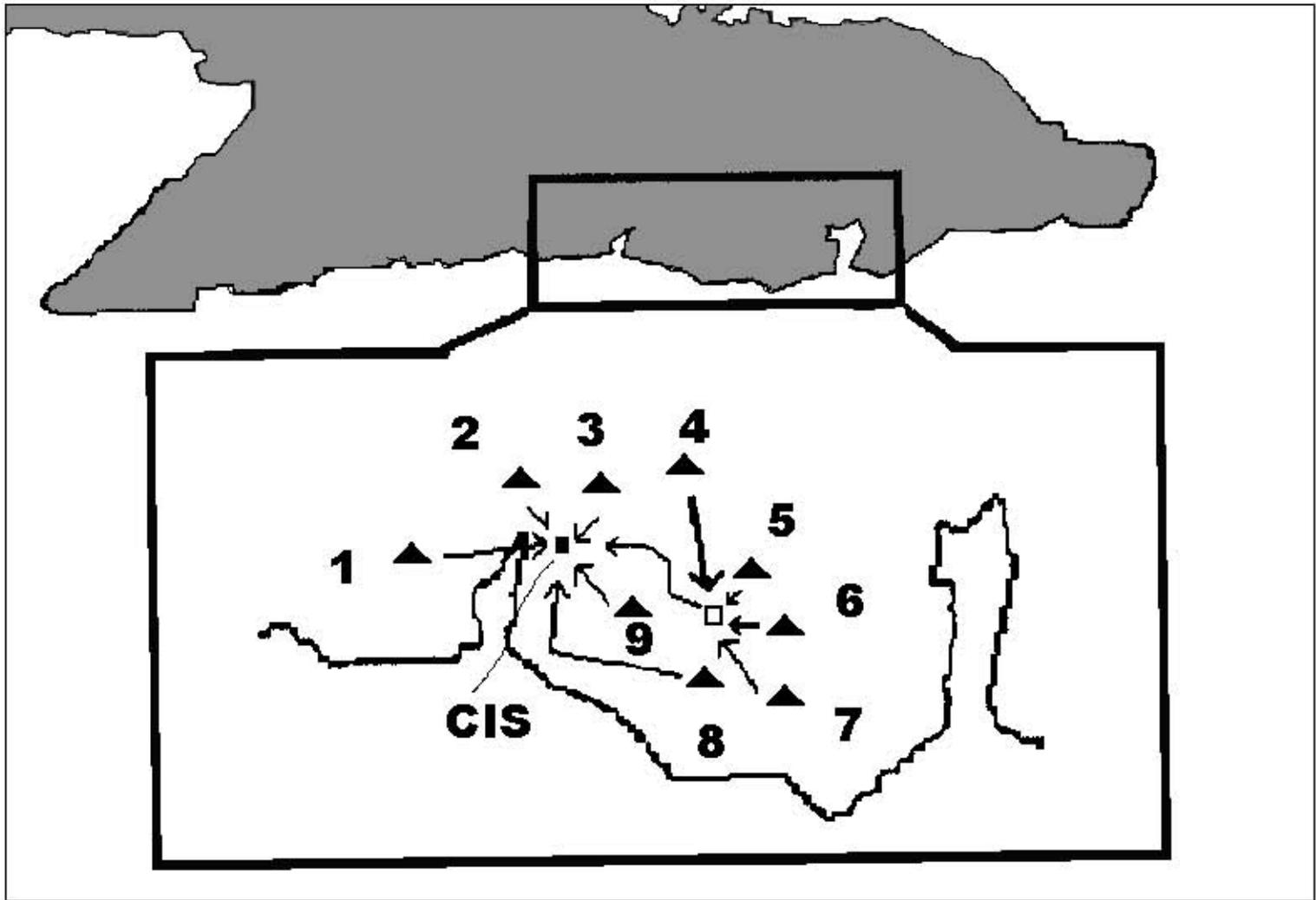


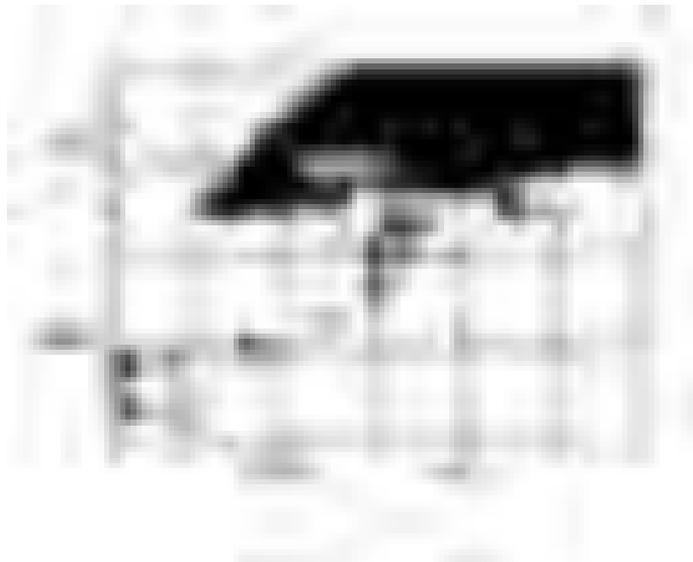


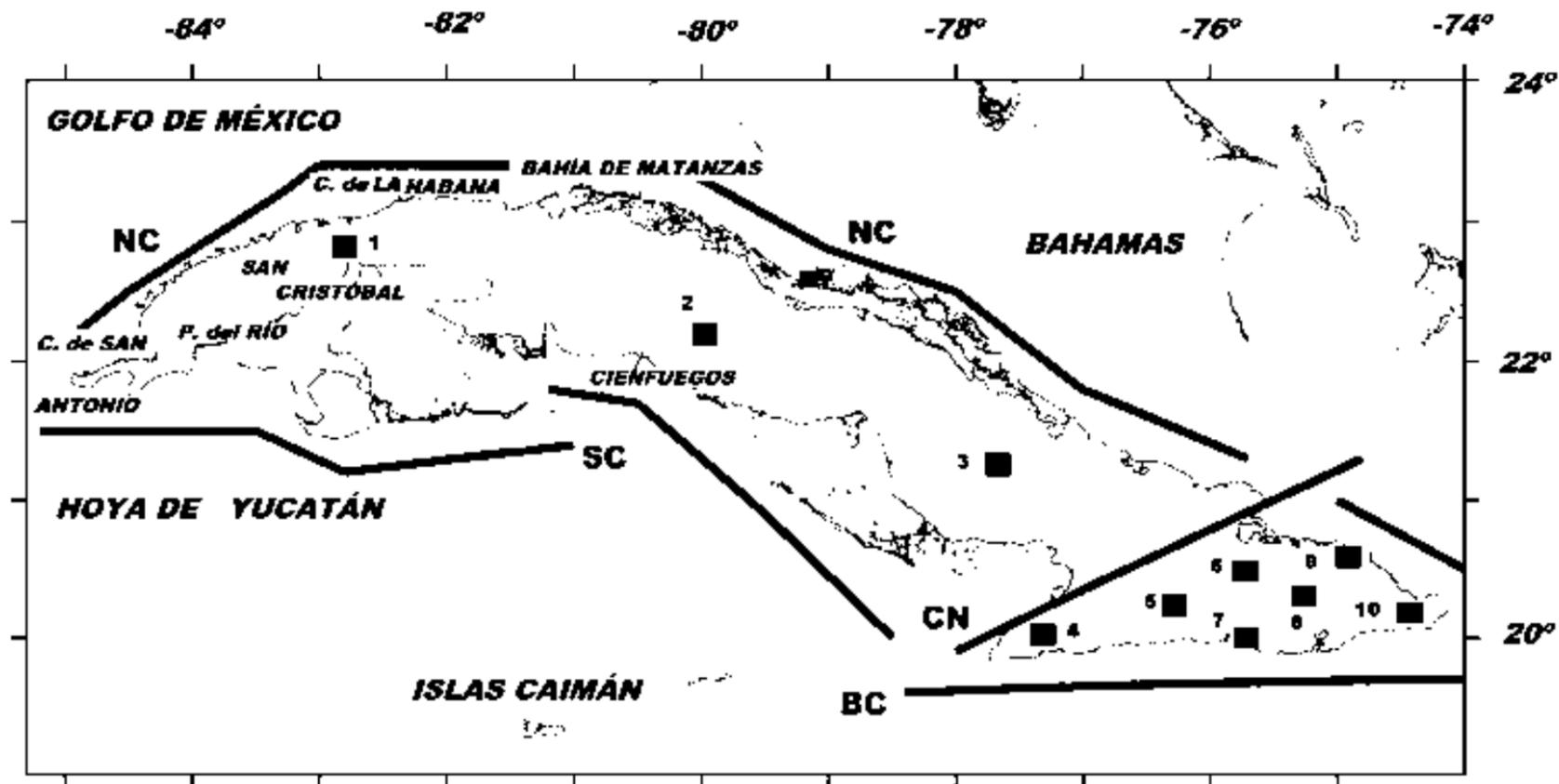




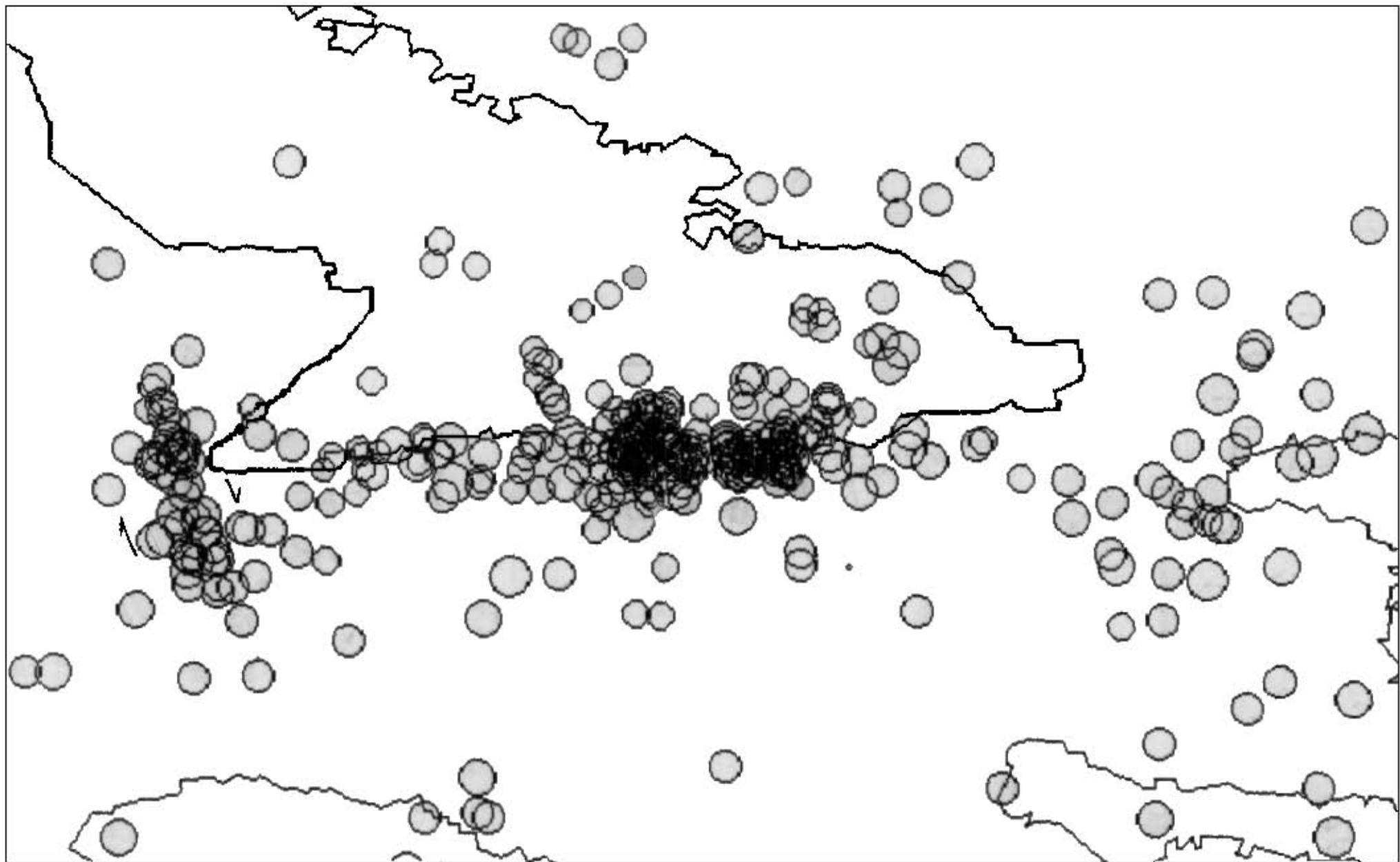


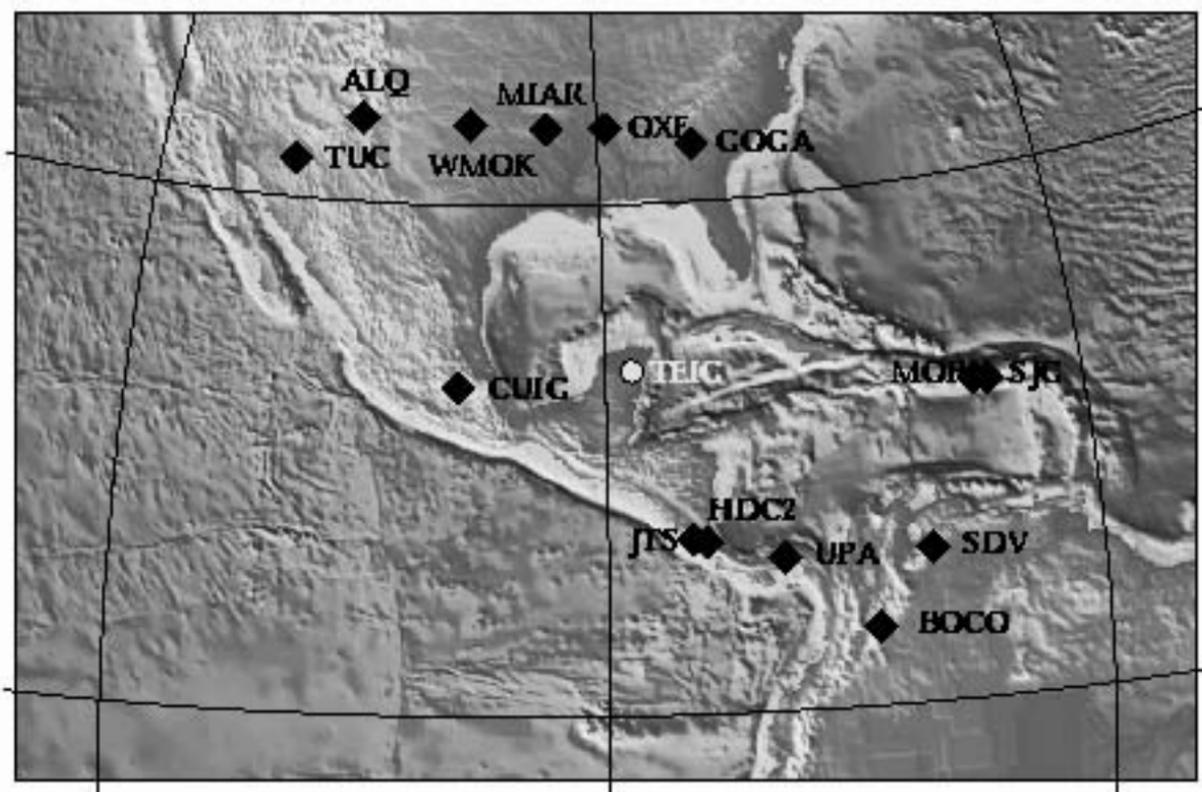


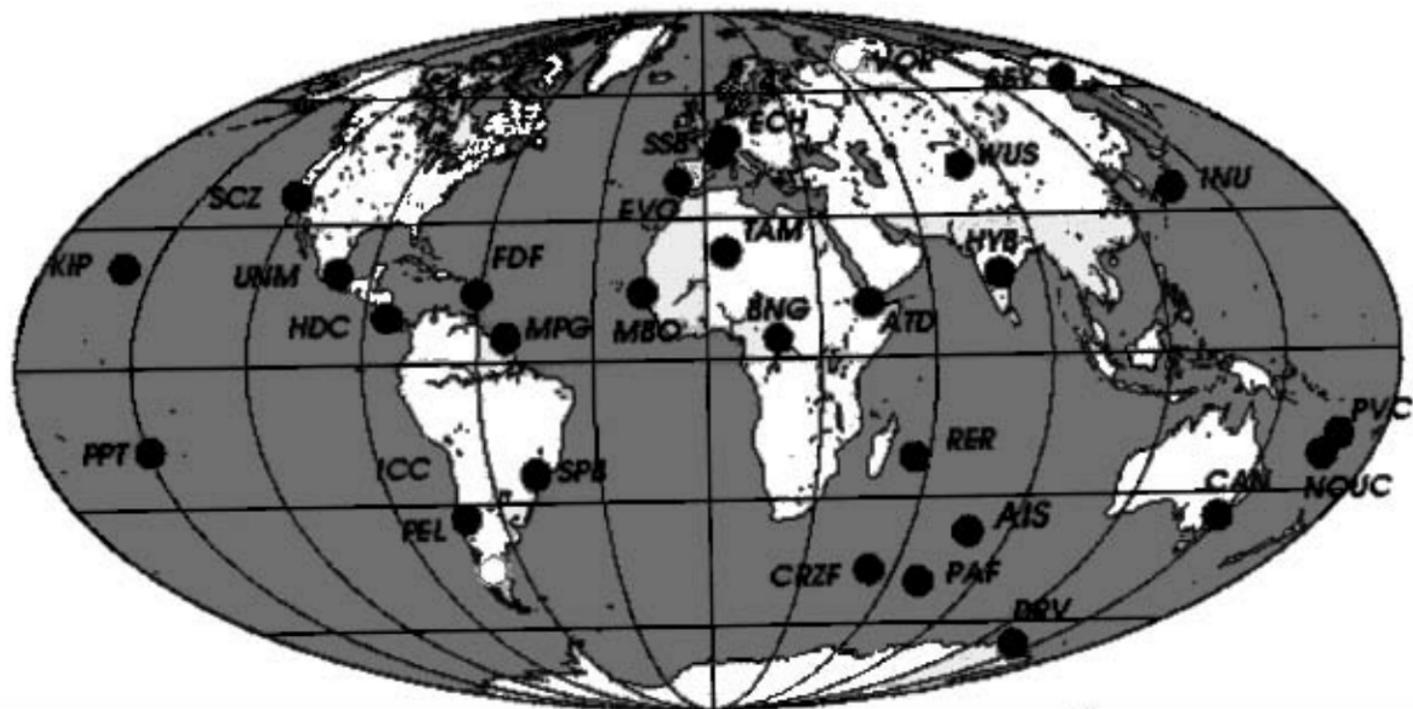




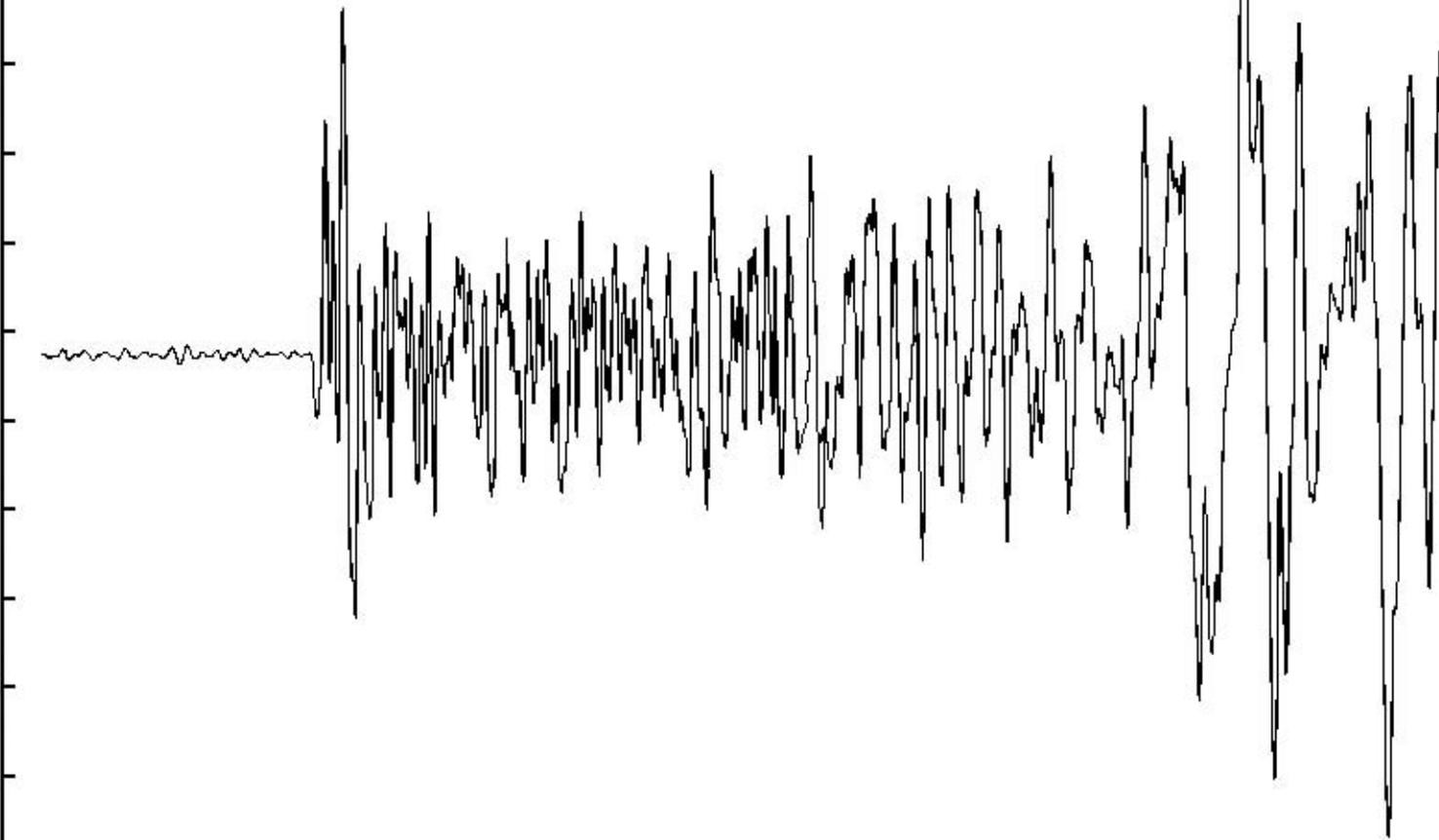


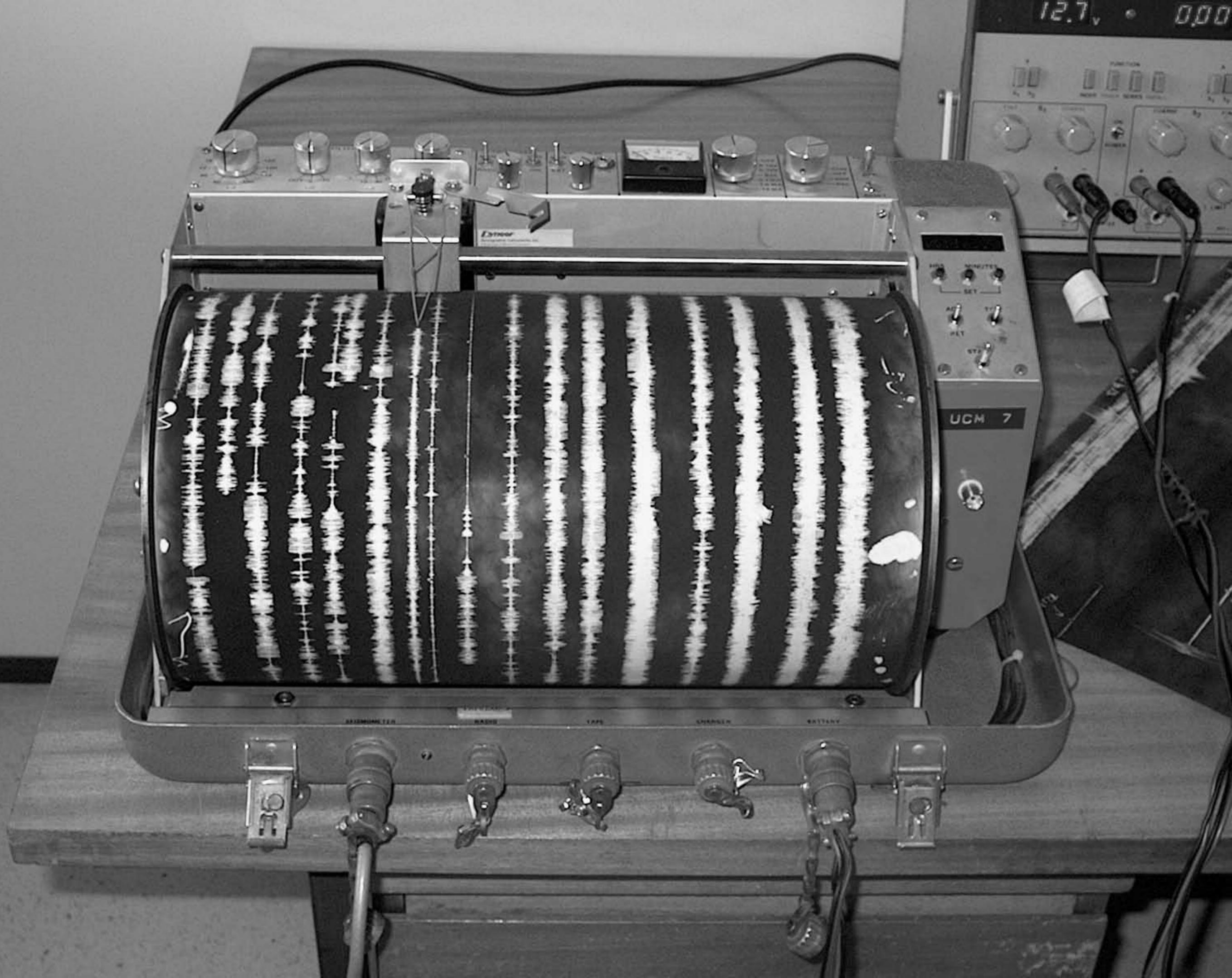




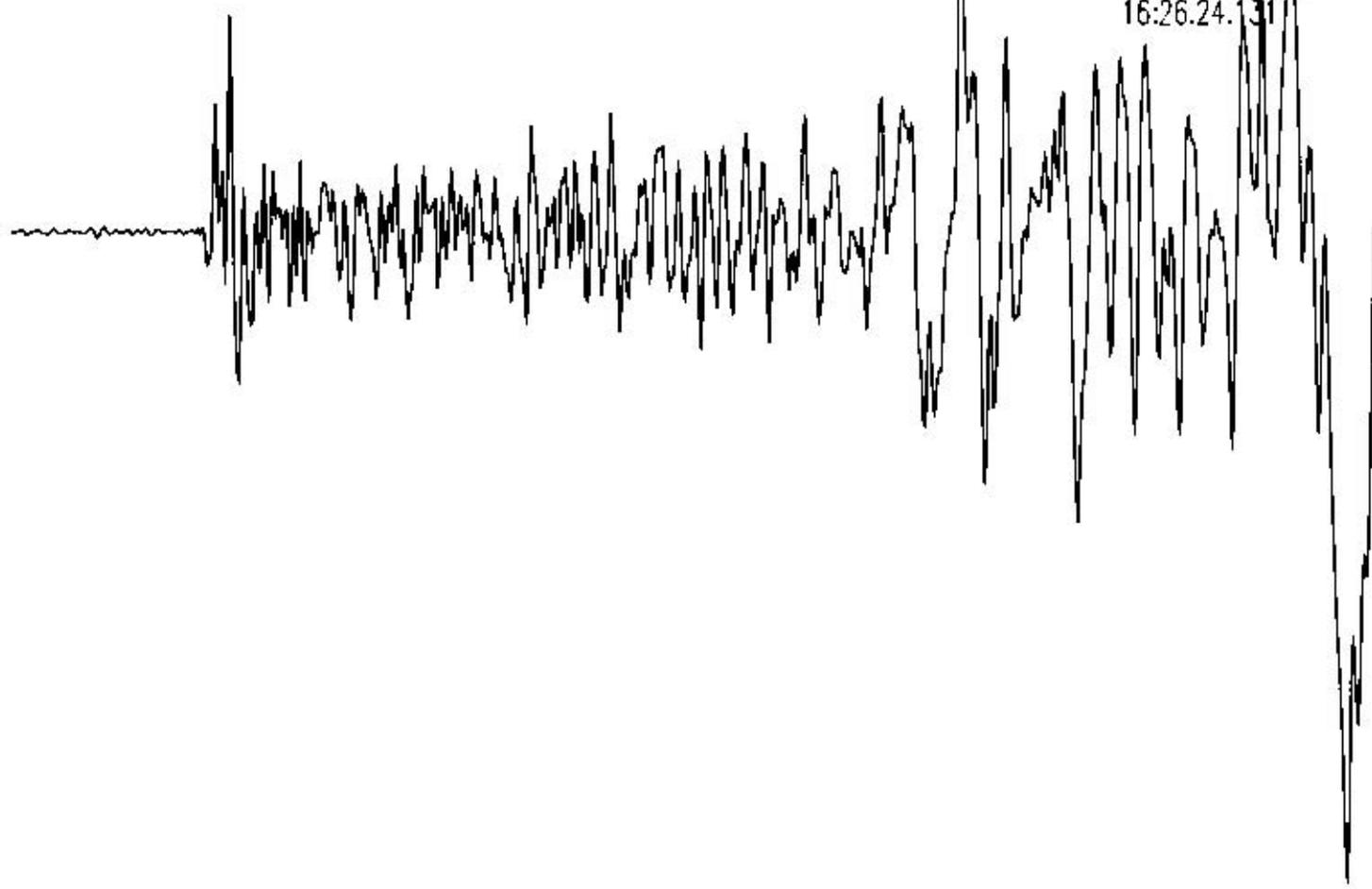


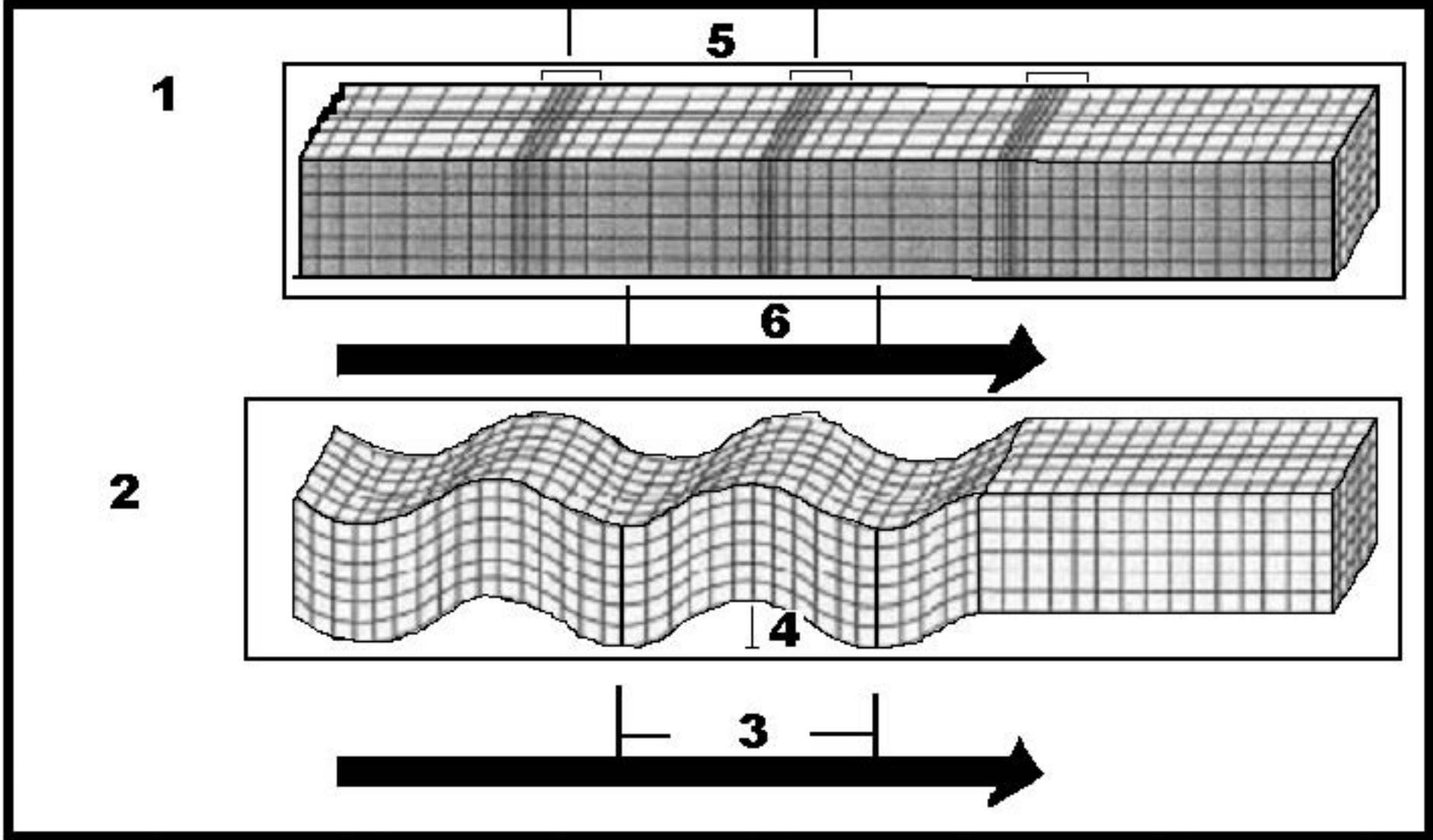
ANMO BHZ  
MAY 25 (146), 1992  
16:54:33.331

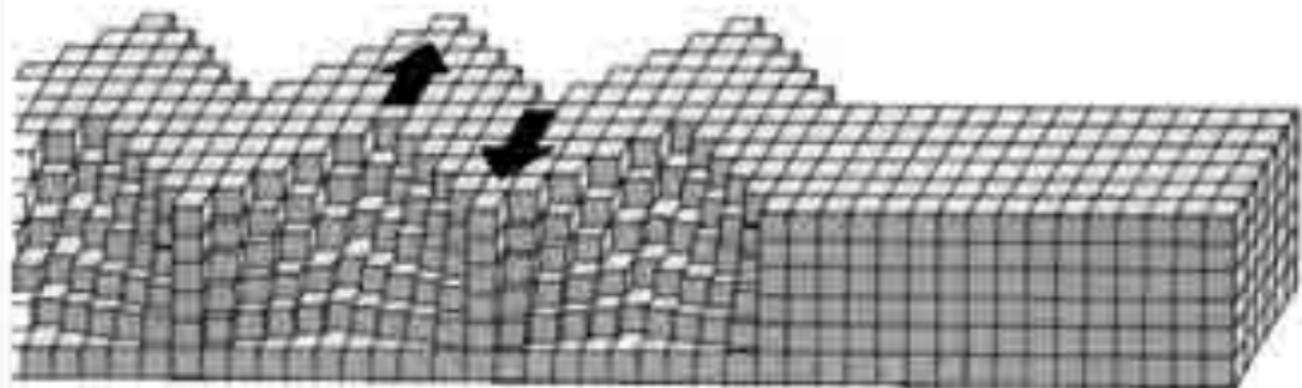




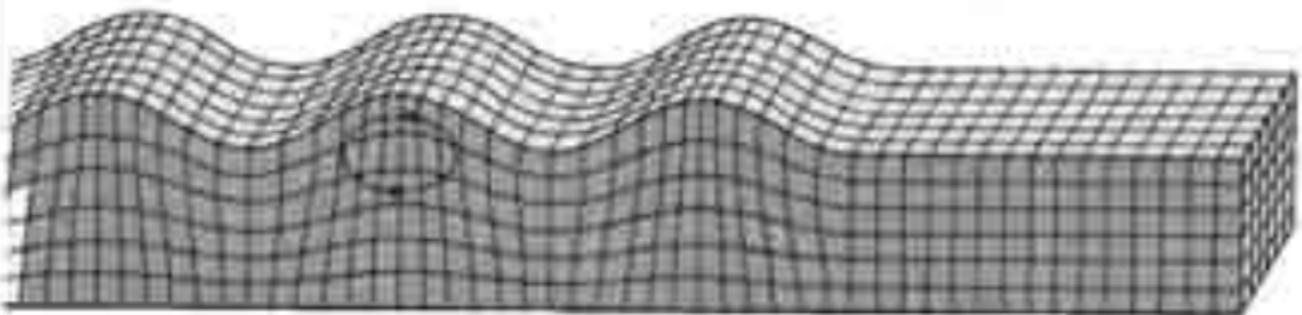
ANMO LHZ  
MAY 25 (146) 1992  
16:26.24.131





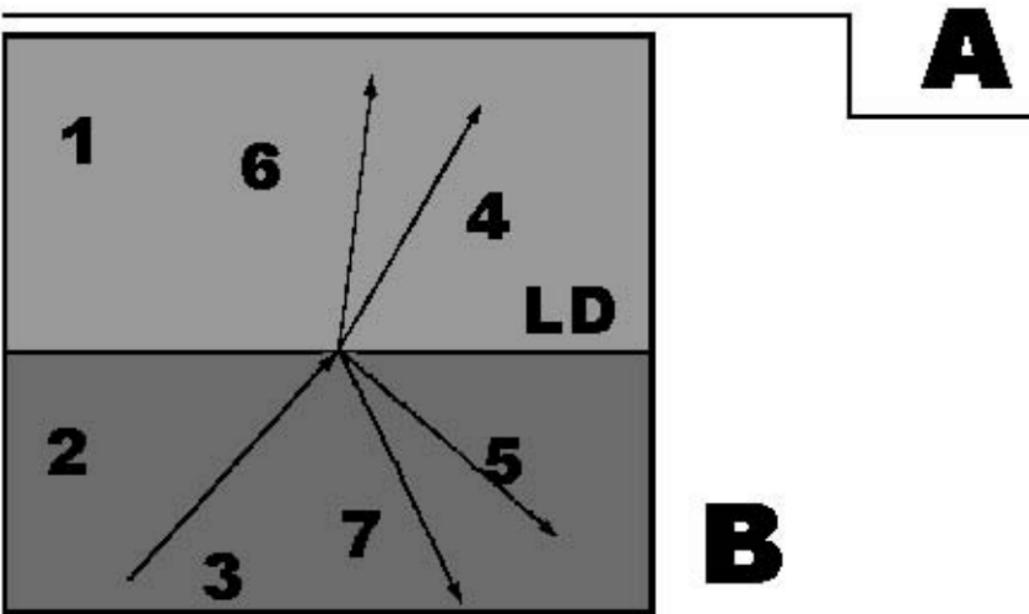
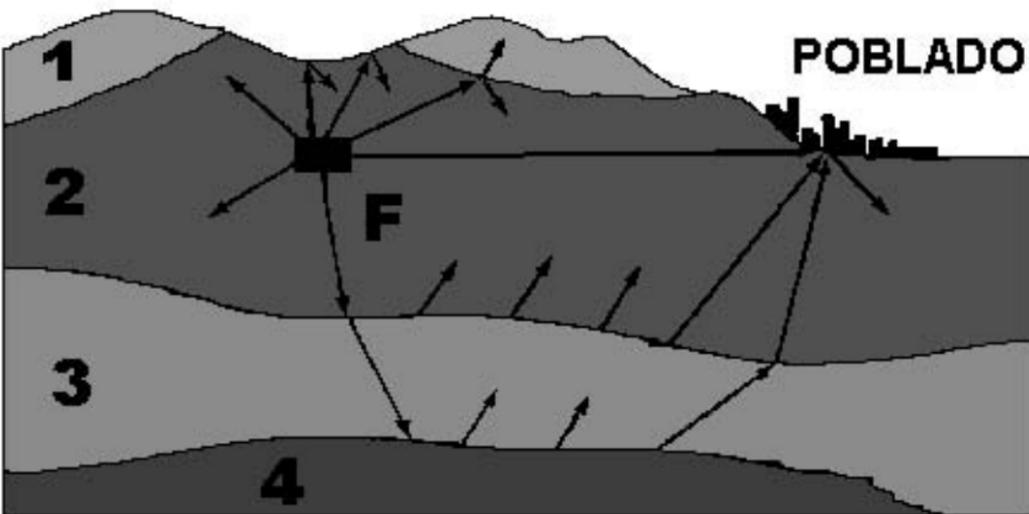


1



2





**POBLADO**

