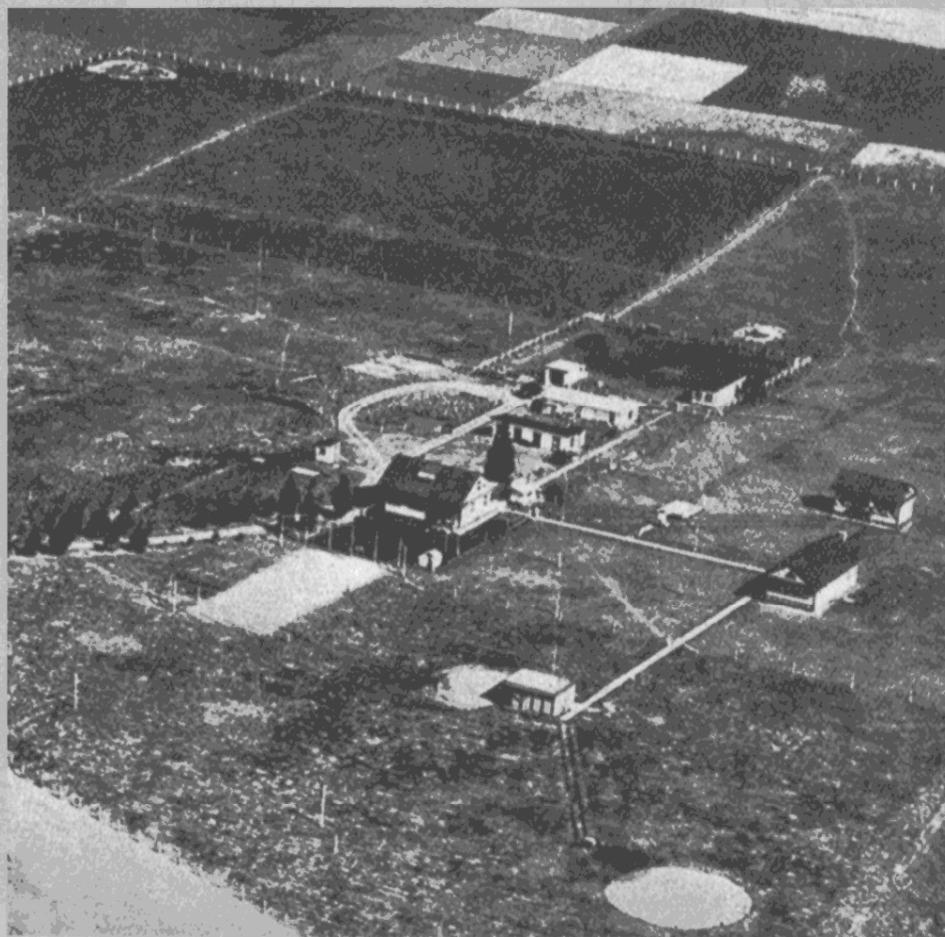




GEOFISICA



Esquema de Regionalización del Potencial de Amenaza Geológica en Cuba

Mario Octavio Cotilla Rodríguez*
José Leonardo Álvarez Gómez*

Abstract

The first regionalization scheme of potential geologic threat for Cuba is presented. It possibly might help, as a central basis, to develop further research on nature and anthropic impacts at different scales in the country. From global hierarchy two Units of Geological Threat are stated for Cuba: Western and Eastern. Being the latter remarkably smaller in size it is, however, of higher threaten level than the first one. On the neoplano different lines of present tectonic weakness were established. Bartlett-Cayman showed the higher level and Cauto-Nipe is the active boundary for the Western and Eastern Units.

Resumen

En el trabajo se presenta para Cuba el primer esquema de regionalización del potencial de amenaza geológica que pudiese constituir el soporte central de las investigaciones que a diferentes escalas, sobre los impactos natural y antrópico, sean enfrentadas en el país. Se sustenta, a partir de una jerarquización global, que Cuba está compuesta por dos Unidades de Amenaza Geológica: Occidental y Oriental. La Unidad Oriental, aunque de extensión superficial mucho menor que la U. Occidental es la de mayor nivel. Quedan establecidas en el neoplano varias líneas de debilidad tectónica actual siendo la de Bartlett-Caimán la de más alto nivel y la de Cauto-Nipe como el límite activo de las Unidades Occidental y Oriental.

* Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Introducción

En la actualidad internacional es frecuente localizar, tanto en publicaciones científicas como populares, referencias a los términos riesgo, amenaza e impacto geológicos. Esto obedece a la importancia que para la sociedad humana tiene la palabra supervivencia. Aunque, de una parte es reconocida la necesidad de investigar científicamente los procesos que pueden producir afectaciones de diverso nivel al medio natural y a la población, y dictar en consecuencia las medidas para evitarlos o atenuarlos, de la otra están unidos, por lo general muy estrechamente, los elementos del desarrollo económico-explotación de los recursos naturales (frecuentemente no planificada) / pérdidas financieras de los inversionistas, hasta llegar a constituirse en antagonicos de la primera incluso prevalecer sobre ella.

Así, el denominado "problema ambiental" es centro de la atención de todos, o al menos de la mayor parte de la intelectualidad. En ese concepto se integra dialécticamente la experiencia, por demás, dramática que ha acompañado al hombre a lo largo de su recorrido en el Holoceno. Esta cuestión se constata en todos los países con independencia de los modelos económico, político y social vigentes. No obstante, hay grandes diferencias tanto en dirección N-S, como E-O y consecuentemente se da a nivel global un espectro, variado y aterrador, ya que al aumentar el poder destructivo de las denominadas fuerzas productivas se han incrementado, tremendamente, los niveles del peligro no sólo de un territorio, sino de todo el planeta.

Cuba no resulta en lo absoluto una excepción y por tal razón desde hace más de una década, estudios de Geofísica Regional realizados con el propósito de la preservación y la rehabilitación del Medio Natural ante los diversos procesos geológico-tectónicos han permitido exponer una cadena lógica, y más o menos, ordenada y concreta de métodos y procedimientos. Este trabajo es muestra en parte de ello.

La necesidad de resolver, en cierto tiempo, situaciones de cierto peligro geológico para determinadas áreas, en muchas ocasiones es priorizada por las direcciones administrativas que no permiten esclarecer en la investigación la taxonomía de los riesgos. Nuestro propósito es responder en cierta medida a resolver tal situación al confeccionar un Esquema de Regionalización del Potencial de Amenaza Geológica para Cuba.

Posición tectónica de Cuba

La tectónica del Caribe ha sido tratada extensamente por numerosos autores, entre los que se destacan los trabajos de (Molnar y Sykes, 1969; Mann y Burke, 1984; McCann, 1985). De estas y otras investigaciones se asegura que el Caribe es una placa litosférica con un tipo de corteza oceánica modificada, no muy antigua, que está derivando al este con respecto a las placas de Norteamérica y Sudamérica. Las velocidades de desplazamiento en las márgenes norte y sur son diferentes, siendo al

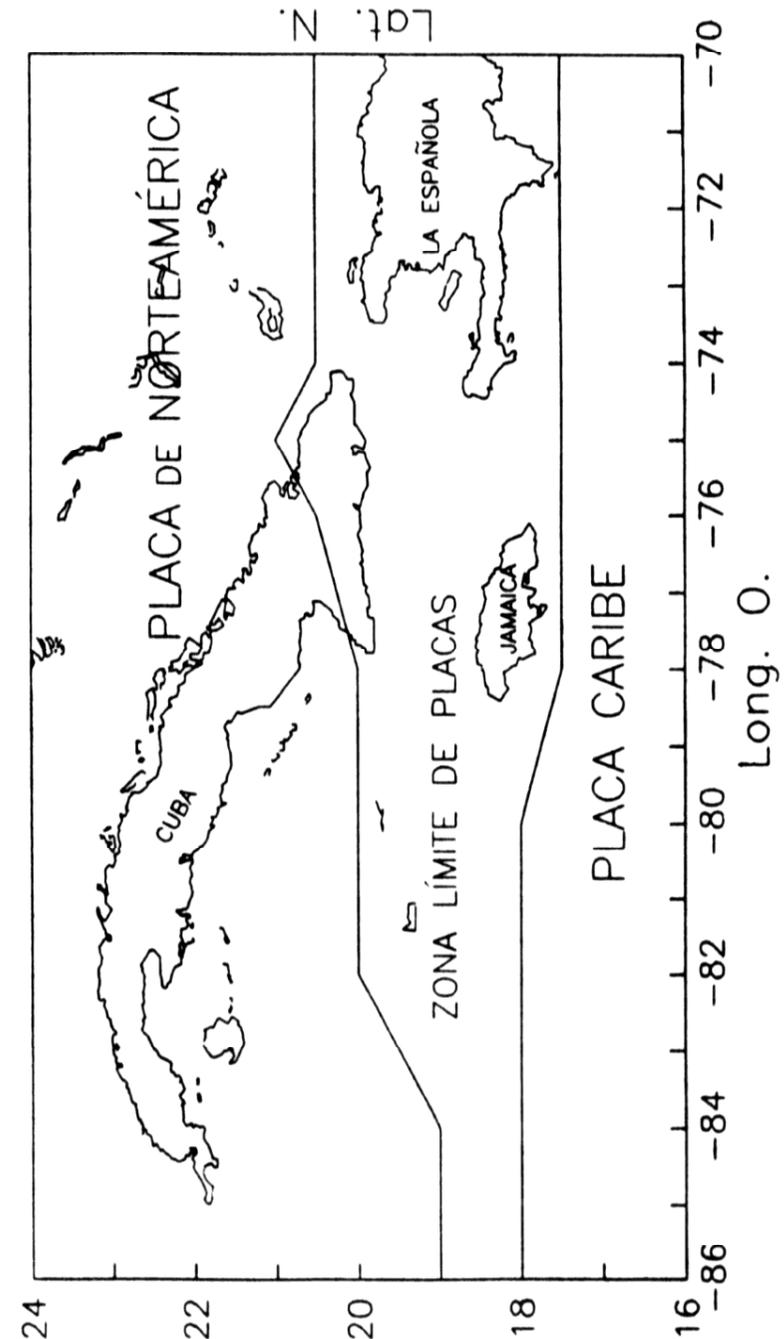


Figura 1. Esquema de la tectónica de un segmento del norte del Caribe.

norte de 3-4 cm/año, correspondiendo 2 cm/año para Cuba y 1-2 cm/año para Jamaica (Sykes *et al.*, 1982). El movimiento de la placa caribea está dado por la dinámica de su sector de litosfera y por la interacción dinámica de las placas litosféricas de las de América del Norte y del Sur, Cocos y Nazca.

En general, la placa Caribe contiene un conjunto de estructuras oceánicas y de arcos de islas interrelacionados. Entre las estructuras oceánicas hay varias fosas profundas como Bartlett-Caimán (Figura 1).

Las estructuras sismogeneradoras principales de esta parte norte del Caribe se localizan en las zonas de interacción de las placas principalmente, y más en detalle, en las intersecciones de las estructuras transversales a las mismas (Mann y Burke, 1984). Cuba se ubica desde el punto de vista tectónico en la parte meridional de la placa litosférica de Norteamérica, donde contacta a través de la estructura submarina Bartlett-Caimán con la placa Caribe. Es en este heterogéneo límite donde se concentra una importante actividad sísmica. De hecho, los terremotos pueden tener magnitudes (Ms) de hasta 8.0 y más, sin embargo, estos últimos están limitados al norte de La Española (Cotilla, 1993).

La evolución geológica de Cuba se ha explicado según diferentes concepciones, para lo cual se elaboraron diversos modelos geotectónicos, tanto fijistas como moviñistas. No obstante, ninguno explica satisfactoria e integralmente los principales problemas de su geología. Concretamente, en la actualidad el territorio de Cuba se divide en dos grandes mosaicos geológicos superpuestos que se corresponden con diferentes etapas de su desarrollo: un *substrato plegado* y un *neoaútóctono*. El substrato plegado está compuesto de rocas y estructuras de origen continental y oceánico, las cuales surgieron y evolucionaron (en un área mucho mayor) fuera de los límites del actual territorio con una tectónica muy compleja de mantos de corrimiento. Por su parte, el neoaútóctono también posee rocas y estructuras, pero todas ellas originadas en las inmediaciones del actual archipiélago, a partir del Eoceno Superior Tardío y luego de la consolidación del substrato plegado. En el neoaútóctono predominan los movimientos verticales de tipo oscilatorio, que conforman al megabloque en ascenso con distintos valores de amplitud / velocidad.

De acuerdo con (Iturralde, 1977) el territorio cubano experimenta un desarrollo de tipo neoplatafórmico con tendencia a los ascensos y descensos (en bloques) desde el Eoceno Superior hasta el reciente. Investigaciones de Cotilla *et al.* (1991a) permiten sustentar que el megabloque Cuba está en ascenso diferencial y estrecha relación (espacio-temporal-energética) con la zona sismogeneradora Bartlett-Caimán (B-C).

Aspectos neotectónicos

Es conocido que por la localización de Cuba en el arco insular de Las Antillas, en la zona de interacción dinámica de la superplaca litosférica de América del Norte y

la pequeña placa Caribe, su ubicación espacial en el borde septentrional de la zona climática de bosques tropicales periódicamente húmedos y la influencia de las oscilaciones paleoclimáticas del Cuaternario se condiciona su relieve. Este conjunto, divino y activo por su contenido determina la heterogeneidad, la complejidad, el carácter y el desarrollo de los elementos morfoestructurales y morfoeculturales (Díaz, 1995).

Las particularidades de la compleja estructura geológica del megabloque Cuba, tanto aquella que se obtuvo como resultado de los movimientos compresivos de la orogenia cubana (Eoceno Medio), como la adquirida en la posterior etapa, la neotectónica (post Eoceno Superior), donde predominan hasta la actualidad los desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos, así como la separación en bloques del territorio y la sedimentación de una cobertura poco deformada que cubre parcialmente a las estructuras antiguas, se reflejan considerablemente en el relieve (Díaz, 1985).

De otra parte se conoce que el predominio de las morfoestructuras de bloque, constituye la característica del desarrollo morfoestructural de Cuba, mientras que las formas plegadas son relictas y muertas (en definitiva inactivas). Las interrelaciones entre la compleja estructura antigua y los diversos estilos tectónicos con los movimientos nuevos han provocado muy distintos tipos morfoestructurales en el neoplano. Hay en el relieve de Cuba un variado mosaico de tipos morfoestructurales que incluyen: morfoestructuras positivas y negativas, lineales o isométricas, directas e inversas, pasivas y activas, heredadas y no heredadas, rejuvenecidas, enterradas y exhumadas, así como sus combinaciones con diferente nivel hipsométrico y extensión superficial (González *et al.*, 1983).

Por estas razones, el mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000 (Cotilla *et al.*, 1991a) constituye un sólido soporte para las tareas tectogénica y regionalización de la amenaza geológica. Seguidamente se expondrán algunas características de las dos Unidades Neotectónicas, Occidental y Oriental que componen al megabloque (Figura 2).

Situación geográfica de las unidades

Las Unidades Occidental y Oriental se enlazan en las inmediaciones del macrobloque Cauto-Nipe, por el sistema activo de fallas homónimas de dirección NE, y en los extremos S y N (nudos) con los límites externos del megabloque cubano, sistemas de fallas Bartlett-Caimán y Nortecubana respectivamente. Estos dos nudos disyuntivos tienen una muy importante significación en cuanto al nivel de actividad sísmica y papel geotectónico. En particular, el nudo del sur (inmediaciones de Cabo Cruz) es el más activo (Cotilla, 1993).

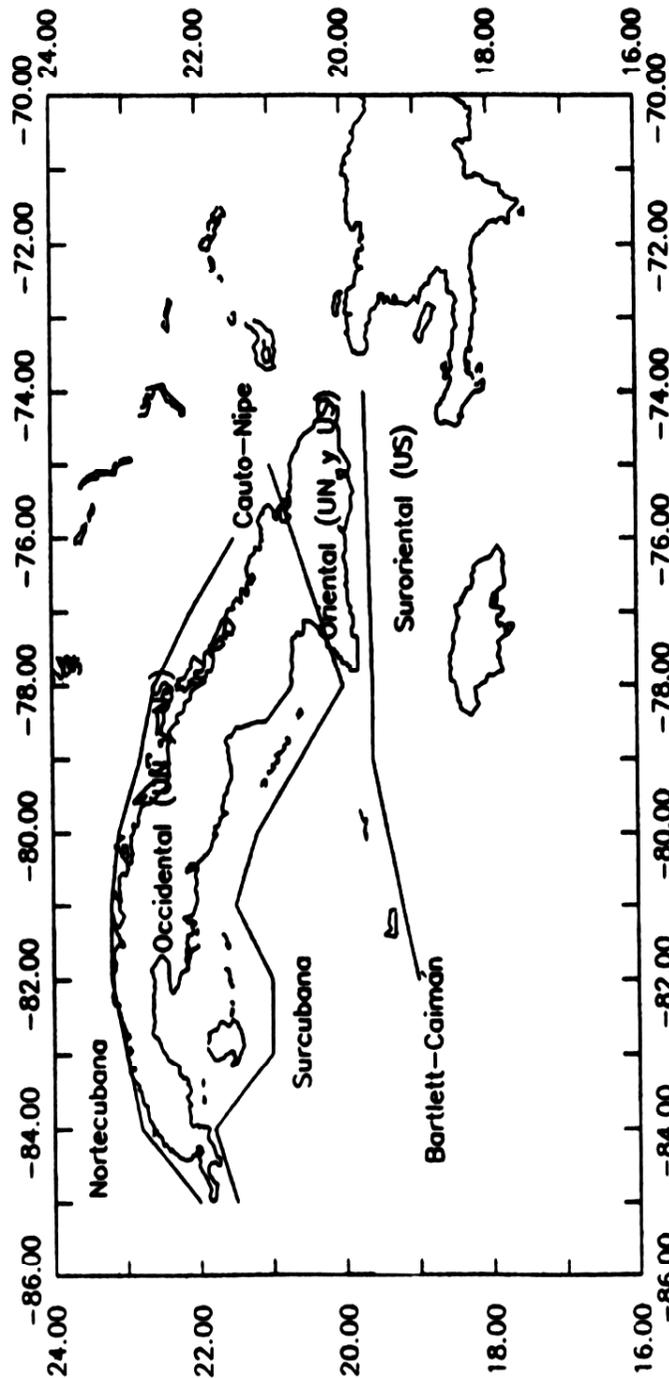


Figura 2. Unidades Neotectónicas y Sismotectónicas del megabloque Cuba.

Para la parte emergida (localidades Cauto-Bayamo) de la zona de enlace de Cauto-Nipe, Hernández (1989) propuso a partir del análisis de los movimientos tectónicos verticales con datos geodésicos una significativa tendencia al descenso.

La Unidad Oriental, de mucha menor área que la Unidad Occidental, se extiende al este del sistema de fallas de Cauto-Nipe hasta la Punta Quemados. Su topografía es de montañas y las llanuras localizadas en sus zonas costeras son por lo general en extremo estrechas; sin embargo, las llanuras interiores tienen un nivel hipsométrico mayor que las de Occidente. La red hidrográfica aunque irregular está muy bien organizada y en general todos los ríos se establecen dentro de un sistema de dos Parteaguas Principales de Primer Orden. El río de mayor orden es el Cauto que recibe aportes de todo el territorio, drenando al oeste, transversalmente al sistema de fallas Cauto-Nipe. Otro río importante es el Toa, que corre a través del macizo montañoso del norte en dirección al este. Precisamente, el macizo montañoso del norte (Nipe-Cristal-Baracoa) tiene un conjunto de ríos de mucha mayor importancia en cuanto a longitud y área de cuenca que los de la Sierra Maestra, como es además del mencionado Toa, el Sagua de Tánamo. Las zonas pantanosas son muy escasas y de poca significación, y se localizan en las zonas costeras (en las bahías y ensenadas).

La Unidad Occidental está al oeste del sistema de fallas Cauto-Nipe. La extensión superficial es mucho mayor que en la U. Oriental, con un relieve predominantemente de llanuras y grupos "orográficos" aislados como: Guaniguanico, Alturas de La Habana-Matanzas, Guamuhaya, Maniabón, etc. Los niveles hipsométricos no exceden los 1,000 m con excepción de Guamuhaya. En todo este territorio existe un solo Parteaguas Principal de Primer Orden (muy poco deformado), por lo que en general, los ríos drenan sus aguas hacia las costas norte o sur. Las zonas pantanosas no sólo están localizadas en las inmediaciones costeras, sino también en el interior de la Unidad.

Algunas características neotectónicas

Aunque el megabloque cubano está en la etapa de neodesarrollo, sus Unidades tienen ciertas características que las diferencian.

La Unidad Oriental posee un relieve vigoroso, con valores de pendientes y disección venical de más de 30 grados y 100 m/km² respectivamente. Los ríos en general alcanzan un alto orden en recorridos relativamente cortos. La inmensa mayoría de los ríos tienen valles en "V" y sus pendientes son fuertes. Existe una gran cantidad de sectores de levantamientos neotectónicos, determinados a partir de las diferencias de superficies básicas (o isobasitas). Las amplitudes totales de los movimientos neotectónicos verticales en la Sierra Maestra y en Nipe-Cristal-Baracoa son del orden de los 1,000 m y mayores. Esta Unidad fue sometida a procesos neotectónicos de naturaleza diferente y no relacionados, al menos estrechamente, con los de la U. Occidental. Estos procesos se iniciaron con posterioridad al estable-

cimiento de los bloques, por la independencia entre ellos; aun en el Eoceno Superior, por la continuación de un estilo paleotectónico (orogénico) y quizás para la base del Oligoceno). Los niveles de terrazas marinas son por lo general superiores a 7 y ellas se encuentran muy deformadas. La terraza del Grupo Jaimanitas está a 40 m de altitud y muy basculada, mientras que en la U. Occidental ésta se encuentra a 5 m. Otro elemento significativo es que no existe un verdadero desarrollo de cayerías y que las costas son predominantemente, de tipo de emersión montañas.

En la Unidad Occidental existe un considerable número de cuencas superpuestas, y su Parteaguas Principal de Primer Orden no tiene grandes irregularidades y mantiene el rumbo estructural del megabloque. El orden máximo de sus ríos principales es menor que los de la U. Oriental, aunque mantienen ese orden máximo por un tramo o recorrido mayor. Los sectores de levantamientos neotectónicos son considerablemente menos numerosos, más aislados y de mucha menor amplitud que en la U. Oriental. La mayor energía del relieve está localizada en el macizo metamórfico del Escambray (Guamubaya), aunque es significativa en el macrobloque Guaniguanico. Su actividad neotectónica es relativamente homogénea desde el Eoceno Superior hasta la actualidad.

Características sismológicas

El megabloque cubano muestra una apreciable diferencia en cuanto a sismicidad: la parte suroriental (sismicidad de entreplacas litosféricas); el territorio de la U.N. Occidental (de interior de placas) y el resto de la parte Oriental (sismicidad intermedia). Sin embargo, en ellas hay también diferencias (Figuras 3 y 4).

En la Unidad Occidental, los terremotos son menos frecuentes e intensos que en la U. Oriental (Tabla 1). Estos eventos se localizan espacialmente a una distancia más o menos similar, 200 km y siempre en relación con estructuras disyuntivas reconocidas en el neoplano (Cotilla *et al.*, 1991b).

Tabla 1
Terremotos más significativos de la Unidad Neotectónica Occidental

Fecha	Intensidad (MSK)	Localidad (Provincia)	Asociado
23.01.1880	VIII	Soroa-Candelaria (Pinar del Río)	A la falla Pinar
28.02.1914	VII	Gibara (Holguín)	A la falla Nortecubana
15.09.1939	VII	Remedios-Caibarién (Las Villas)	A la falla Nortecubana
27.06.1972	V	Esmeralda (Ciego de Ávila)	A la falla Cubitas
08.04.1974	V	Esmeralda (Ciego de Ávila)	A la falla Cubitas
16.12.1982	VI	Torriente-Jaguey Grande (Matanzas)	Al nudo de fallas Cochinos-La Habana-Cienfuegos

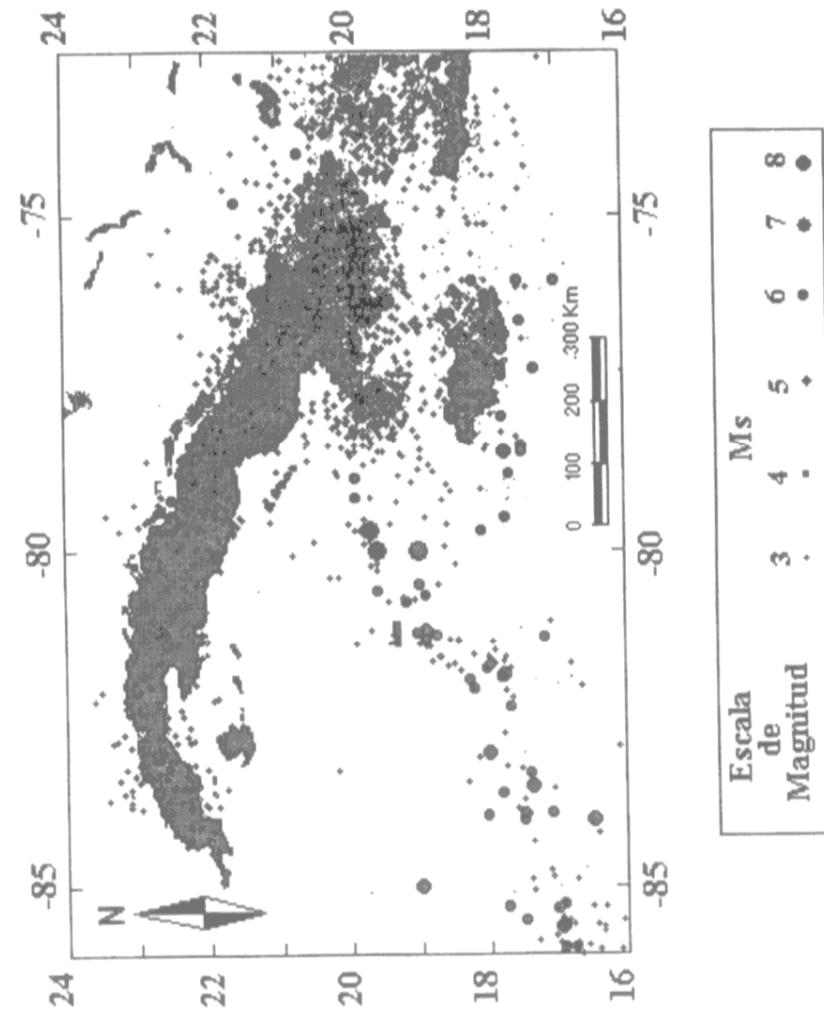


Figura 3. Terremotos con $M_s \geq 3$.

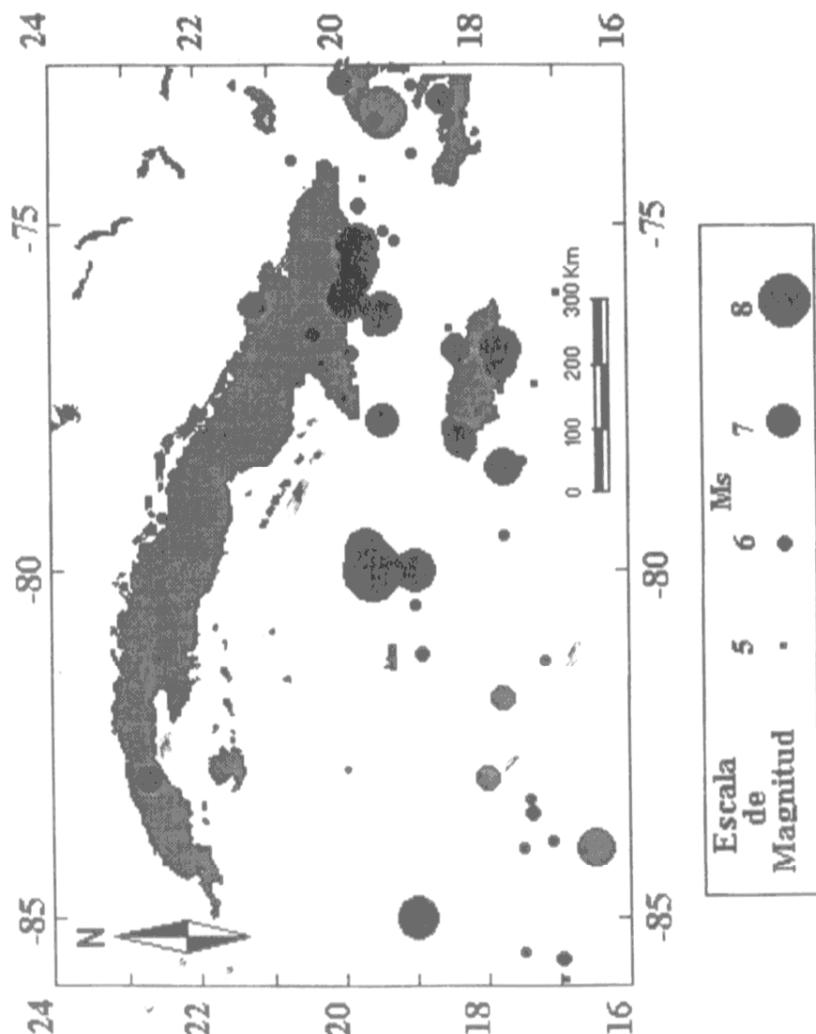


Figura 4. Terremotos con Ms > 5.

Con respecto a la influencia de sismicidad externa en la Unidad Occidental, se puede asegurar que ella está prácticamente limitada a los terremotos que ocurren al sur de la U. Oriental, y esta influencia es menor según nos apartamos hacia el oeste de la frontera entre ambas unidades, como los casos de los terremotos de: S. de Cuba, 1766, 1832 y 1932; Cabo Cruz-Pilón, 1990 y 1992. De otras zonas también existe influencia, como es el caso del terremoto de Islas Caimán 1852; pero en este último es muy baja, mucho menor que en los anteriormente citados.

Por su parte, la Unidad Oriental tiene una particularidad que no existe en ningún otro arco de islas, ya que en ella se dan elementos de sismicidad de entreplacas litosféricas (influencia de la región suroriental) y de interior de placas, pero con un nivel diferente al de la U. Occidental. En esta Unidad, el mayor nivel de incidencia del fenómeno sísmico, tanto en frecuencia como en intensidad, está asociado a la ocurrencia de terremotos en la zona Bartlett-Caimán. Por otra parte, la sismicidad histórica de dicha Unidad (no debida a la zona suroriental) consideramos que debe estar en gran medida "opacada" por la influencia de esta zona; lo que puede ser producto de que eventos sísmicos propios de ella se hayan asociado a Bartlett-Caimán. Es de señalar que los eventos históricos reportados en múltiples casos sólo han sido perceptibles en una o muy pocas localidades, lo que hace difícil determinar con precisión la zona epicentral. Sin embargo, es indudable que su actividad sísmica es más frecuente, al menos por el número de eventos perceptibles reportados en los últimos años. Nótese que no se habla de los eventos registrados, ya que el nivel de detección, dada la existencia de una red de estaciones, es considerablemente superior en esta Unidad en comparación con la Occidental. Los sismos más significativos de la U. Oriental, excluyendo la parte suroriental, se relacionan en la Tabla 2.

La Unidad Oriental recibe influencia sísmica de eventos ocurridos fuera de sus límites, tanto de la U. Occidental (terremoto de Gibara de 1914), como de La Española (terremotos de 1842, 1887 y 1897) y de Jamaica (terremoto de 1692).

Tabla 2
Terremotos de la Unidad Neotectónica Oriental

Fecha	Intensidad (MSK)	Localidad (Provincia)	Asociado a la falla
1528	VI (?)	Baracoa (Guantánamo)	Nortecubana
1551	VIII	Bayamo (Granma)	Cauto-Nipe
16.04.1987	IV-V	Bayamo (Granma)	Cauto-Nipe
25.04.1987	IV-V	Bayamo (Granma)	Cauto-Nipe

Características geólogo-tectónicas

A partir del mapa tectónico de Mossakovsky *et al.* (1989) es factible plantear que existe una marcada diferenciación lateral de la estructura y la tectónica de las zonas

cimiento de los bloques, por la independencia entre ellos; aun en el Eoceno Superior, por la continuación de un estilo paleotectónico (orogénico) y quizás para la base del Oligoceno). Los niveles de terrazas marinas son por lo general superiores a 7 y ellas se encuentran muy deformadas. La terraza del Grupo Jaimanitas está a 40 m de altitud y muy basculada, mientras que en la U. Occidental ésta se encuentra a 5 m. Otro elemento significativo es que no existe un verdadero desarrollo de cayerfás y que las costas son predominantemente, de tipo de emersión montañas.

En la Unidad Occidental existe un considerable número de cuencas superpuestas, y su Parteaguas Principal de Primer Orden no tiene grandes irregularidades y mantiene el rumbo estructural del megabloque. El orden máximo de sus ríos principales es menor que los de la U. Oriental, aunque mantienen ese orden máximo por un tramo o recorrido mayor. Los sectores de levantamientos neotectónicos son considerablemente menos numerosos, más aislados y de mucha menor amplitud que en la U. Oriental. La mayor energía del relieve está localizada en el macizo metamórfico del Escambray (Guamubaya), aunque es significativa en el macrobloque Guaniguanico. Su actividad neotectónica es relativamente homogénea desde el Eoceno Superior hasta la actualidad.

Características sismológicas

El megabloque cubano muestra una apreciable diferencia en cuanto a sismicidad: la parte suroriental (sismicidad de entreplacas litosféricas); el territorio de la U.N. Occidental (de interior de placas) y el resto de la parte Oriental (sismicidad intermedia). Sin embargo, en ellas hay también diferencias (Figuras 3 y 4).

En la Unidad Occidental, los terremotos son menos frecuentes e intensos que en la U. Oriental (Tabla 1). Estos eventos se localizan espacialmente a una distancia más o menos similar, 200 km y siempre en relación con estructuras disyuntivas reconocidas en el neoplano (Cotilla *et al.*, 1991b).

Tabla 1
Terremotos más significativos de la Unidad Neotectónica Occidental

Fecha	Intensidad (MSK)	Localidad (Provincia)	Asociado
23.01.1880	VIII	Soroa-Candelaria (Pinar del Río)	A la falla Pinar
28.02.1914	VII	Gibara (Holguín)	A la falla Nortecubana
15.09.1939	VII	Remedios-Caibarién (Las Villas)	A la falla Nortecubana
27.06.1972	V	Esmeralda (Ciego de Ávila)	A la falla Cubitas
08.04.1974	V	Esmeralda (Ciego de Ávila)	A la falla Cubitas
16.12.1982	VI	Torriente-Jaguey Grande (Matanzas)	Al nudo de fallas Cochinos-La Habana-Cienfuegos

particularidades de las manifestaciones de la sismicidad, Cotilla (1993) propuso para la Provincia Sismotectónica de Cuba la existencia de tres Unidades Sismotectónicas (US): 1) Cuba Suroriental, incluyendo la fosa de B-C; 2) Cuba Oriental: el territorio conocido como U.N. Oriental; 3) Cuba Occidental: el resto del territorio nacional (Figura 2).

En la US Suroriental (zona netamente marina), la ocurrencia de terremotos está dada fundamentalmente por el proceso de interacción (corrimiento lateral izquierdo) de las placas del Caribe y Norteamérica. Aquí se localiza la sismicidad de entreplacas. Para la US Occidental (coincidente en área con la UN Occidental), las fallas neotectónicas y los nudos de correspondientes (de diferente categoría y siempre de mucho menor nivel que la anterior, y sin relación directa con el sistema disyuntivo B-C) justifican la liberación de la energía sísmica por áreas (sismicidad de interior de placas). Y la US Oriental, la menos reconocida desde el punto de vista de la sismicidad, por lógicas razones de inmediata cercanía a la US Suroriental, con estilo neotectónico diferente a las dos anteriores, y sistemas disyuntivos en relación directa con la estructura sismogeneradora B-C posee una sismicidad que resulta de una combinación de ambos tipos.

Los elementos fundamentales de las US lo constituyen las zonas sismogeneradoras (ZS), que son aquellas que poseen características de tipos geológico, geomorfológico y geofísico no regulares que justifican y hacen relacionarlas con la ocurrencia de terremotos en sus inmediaciones. Es práctica común vincular con estas zonas a los sistemas de fallas y flexuras de grandes dimensiones y que por supuesto contienen elementos de menores órdenes que a su vez guardan relación con el sistema global, cortándose, desplazándose, etc. Cotilla (1993) considera que no existe elemento sismogenerador, al menos para esta región Caribe, que sea homogéneo en toda su extensión.

Del mapa sismotectónico (Cotilla, 1993), se tiene que la principal ZS de Cuba es B-C ($M_s < 6$ ó $= 8.0$) y que presenta tres (3) sectores: Occidental (Cabo Cruz-Pilón), Central (Pilón-Baconao) y Oriental (Baconao-Punta de Maisí). Siendo más importante el sector Pilón-Baconao (Figura 5). De ese mismo mapa se tienen los totales de ZS; pero aclaramos que esas cifras pueden resultar aparentemente grandes para un territorio de la extensión superficial como el cubano, pero realmente de la propia definición de ZS se puede comprender que espacialmente varias de ellas pueden coincidir con una zona o sistema de fallas.

Categoría de las zonas sismogeneradoras	Total
1	3
2	23
3	13
4	7
5	14

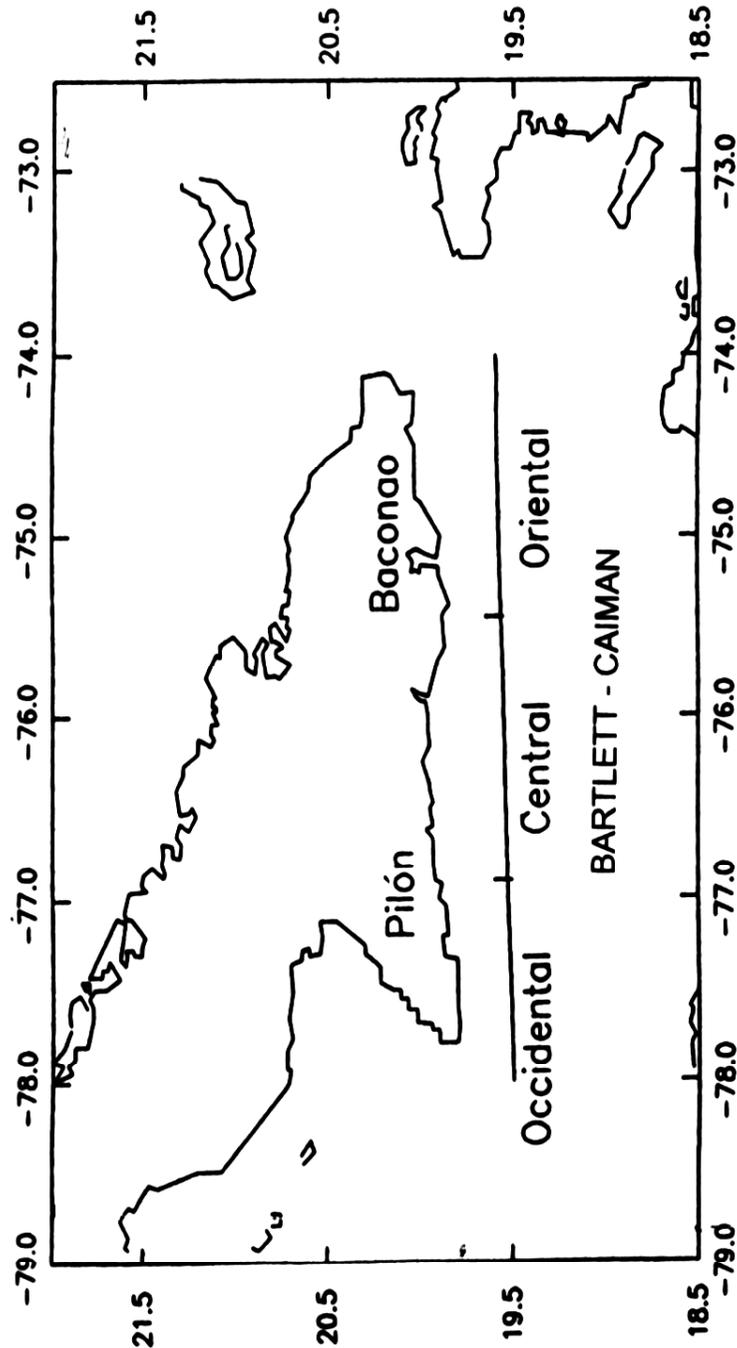


Figura 5. Diferenciación de la estructura Bartlett-Caimán (al sur de Cuba Oriental).

Estas categorías de ZS se establecieron a partir de la evaluación cuidadosa, de las informaciones geólogo-tectónico-geofísica y sísmológica existente que incluyen los siguientes indicadores: 1) Tipo, historia y categoría de la falla; 2) bloques que delimitan; 3) amplitud de los movimientos neotectónicos verticales; 4) gradiente neotectónico; 5) unidades neotectónicas; 6) existencia de nudos de zonas de alineamientos; 7) zona de intensidad sísmica; 8) intensidad sísmica máxima reportada.

Desde el punto de vista sismotectónico, Cuba tiene una marcada diferenciación de peligrosidad que puede ser resumida en tres (3) niveles:

Unidad sismotectónica	Peligro
Suroriental	Grande
Oriental	Medio
Occidental	Bajo

Elementos climáticos, hidrológicos, edafológicos y otros

Para la evaluación de la amenaza geológica en Cuba es indispensable coleccionar y procesar además de los datos puramente geológicos, geofísicos, geomorfológicos y neotectónicos, toda la información posible y útil sobre el clima, la hidrología, la edafología, los tipos de costas, etc. Esto se explica entre otras cosas por su condición de insularidad, las inundaciones provocadas por lluvias, las penetraciones del mar, etc.

La aplicación de la clasificación climática de Köppen para el Caribe, evidencia el predominio de condiciones tropicales marítimas y la distribución estacional de las lluvias. En este sentido, el clima tropical se caracteriza por: 1) Predominio de los vientos de dirección este; 2) Significativas variaciones de la temperatura del aire en las distintas estaciones; 3) Ocurrencia de ciclones tropicales en el océano.

Los resultados muestran que con un análisis dinámico, es factible distinguir dos subregiones en el Caribe (Barranco y Díaz, 1989):

- 1) Caribe Occidental, donde se producen vientos estacionales y calmas, y hay influencia continental en invierno.
- 2) Caribe Oriental, en el que hay un predominio de vientos alisios (relativamente lluviosos), con una significativa diferenciación, así como humedecimiento entre las vertientes de barlovento y sotavento, y la presencia de franjas semidesérticas pequeñas en las costas meridionales de Las Antillas Mayores (para Cuba esta franja semidesértica está limitada al este de Guantánamo).

El límite de estas subregiones se traza en dirección NE desde el Golfo de Honduras hasta el Océano Atlántico, atravesando a Cuba por la zona de Cauto Nipe. Esto

significa que la Unidad Neotectónica Occidental está enmarcada en la subregión Caribe Occidental, de clima tropical (tipo sabana) con verano relativamente húmedo y donde hay una apreciable influencia estacional (invierno) de las masas de aire ártica y polar continental. Por su parte, la Unidad Neotectónica Oriental (montañosa por excelencia) está en la subregión del Caribe Oriental donde predominan los alisios [para la periferia suroccidental del anticiclón del Atlántico] que provoca la existencia alternante (contrastes del relieve y la circulación de aire marítimo) de áreas lluviosas (tipo bosque tropical) y de franjas semidesérticas (sotavento).

La dirección este de los vientos bajos de la troposfera, está dada por la localización espacial de Cuba en la frontera de las zonas de circulación tropical y extratropical (González *et al.*, 1987). Así, en el invierno se dan cambios bruscos en el estado diario del tiempo por asociaciones con zonas frontales y centrales de bajas presiones extratropicales. Y en el verano, la diferenciación del tiempo es debida a situaciones propias de la circulación tropical (perturbaciones ondulatorias del flujo del este y ciclones) (Rego, 1989a, b).

De acuerdo con Rodríguez (1989), en la temporada junio-noviembre del periodo 1785-1984, Cuba fue azotada por un total de 108 huracanes, y atendiendo al mapa de la trayectoria de los huracanes, le han afectado durante 1894-1985 (Rodríguez, 1989) catorce (14) huracanes de gran intensidad. De ellos y hasta 1994, sólo uno ha penetrado en la U.N. Oriental, y doce (12) lo han hecho en la U.N. Occidental. De tal forma, que la mitad más occidental del territorio de la U.N. Occidental históricamente ha estado más comprometida que el resto de la isla con la ocurrencia de huracanes, frentes fríos y sures (Rodríguez, 1989; Vega, 1989).

Nota: Clasificación de acuerdo con el Instituto de Meteorología: *Huracán*. Circulación cerrada, bien definida con vientos máximos superiores a 117 km/h.

Tormenta tropical. Circulación cerrada, bien definida con vientos máximos entre 63-117 km/h.

Sures. Vientos que afectan a la mitad occidental de Cuba en la temporada de los frentes fríos (septiembre-mayo), con rumbos del SSE, del S y SSO, debido a la influencia de centros de bajo barómetro extratropicales sobre el Golfo de México o la parte sur de los Estados Unidos.

De todos estos datos, apreciamos que la U.N. Occidental tiene el mayor nivel de amenaza (considerablemente superior al compararlo con la U.N. Oriental) por tales eventos naturales, y en particular, su mitad occidental es la más peligrosa. Esto se confirma a partir del mapa de velocidad máxima del viento (Vega, 1989), en que el autor señala explícitamente un límite entre las regiones de mayor y menor frecuencia de huracanes de moderada y gran intensidad. Este límite de franca dirección N-S se traza al este de Cienfuegos (Figura 6).

Relacionado con lo anterior, está el peligro o la amenaza por el oleaje y, en consecuencia, es otro elemento a valorar en el Esquema de Regionalización de la

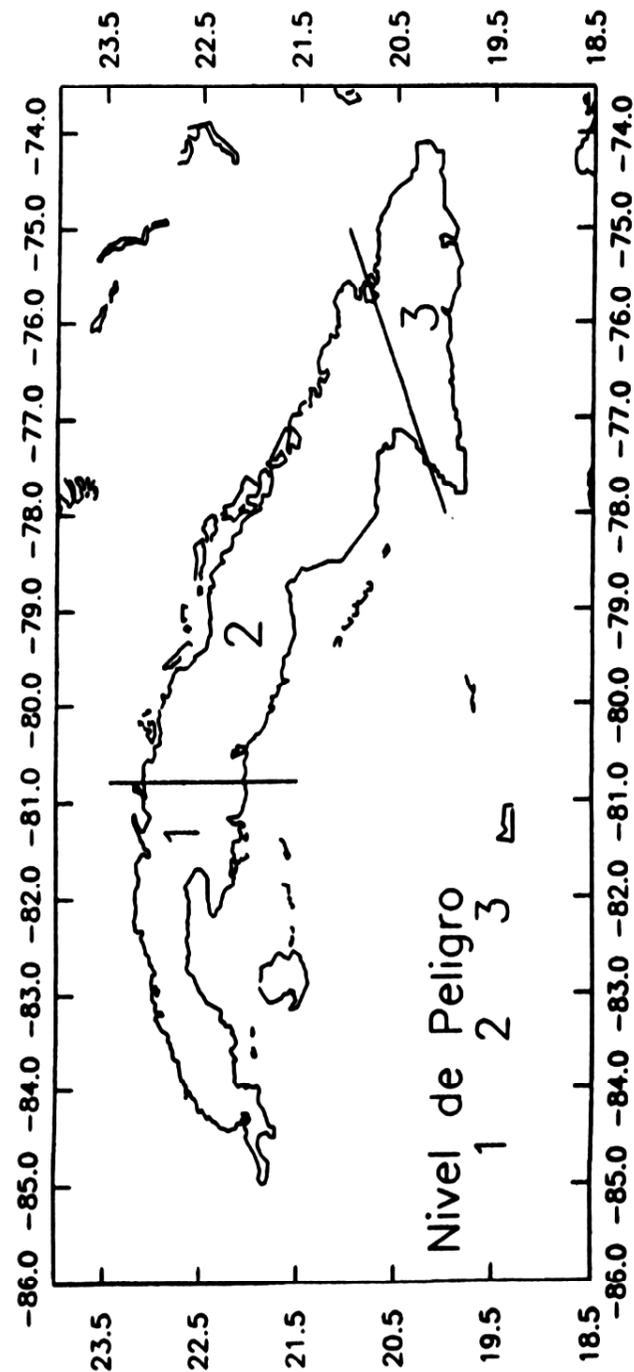


Figura 6. Niveles de peligro por huracanes y ciclones de Cuba.

amenaza geológica. Así, en este elemento se diferencian dos categorías de oleaje: eólico y tectónico (tsunami).

Los tsunamis son ondas gravitacionales de una longitud extremadamente larga, que se propagan en grupo a través del océano, en mar abierto, sus amplitudes son imperceptibles y al llegar a las zonas costeras (de poca profundidad), la masa líquida se acumula provocando que la ola gane en amplitud. Han llegado a alcanzar hasta 30 m de altura. Ellas se propagan en todas direcciones desde el punto de origen y se desplazan a una velocidad proporcional a la raíz cuadrada de la profundidad de las aguas por donde se desplazan. El intervalo entre olas sucesivas es de 30-40 minutos.

En relación con el oleaje de causas tectónicas, Rubio (1982) realizó para la parte norte del Caribe un estudio histórico (desde 1600) de su ocurrencia y aseguró que: "Para la República de Cuba no se debe considerar el riesgo de tsunami en objetos de obra a construir en las zonas del litoral". En dicho estudio se argumentó que a pesar de desconocerse con precisión el mecanismo de origen de los tsunamis, sí está claro que pueden tener diversos orígenes: movimientos verticales del fondo marino (causados por terremotos) y conocimientos de sedimentos marinos (causados por terremotos y erupciones volcánicas). Otra cuestión conocida es que la magnitud de los terremotos debe ser considerable (con foco poco profundo) y el mecanismo focal asociado del tipo normal (o inverso). Estas características no se dan en esta parte del Caribe (Tabla 2a).

Tabla 2a
Tsunamis reportados en Cuba

Fecha a m d	Descripción
1755 11 01	<i>S. de Cuba.</i> Una ola produce daños a las edificaciones de la bahía. Se supone asociada al gran terremoto que azotó Portugal. Estas olas alcanzaron las Indias Occidentales con alturas de 4-6 m.
1851 07 17	<i>S. de Cuba.</i> La bahía se vio afectada por un fuerte oleaje que produjo daños en construcciones portuarias y embarcaciones surtas en el puerto. Debió ser producto de un sismo que afectó al buque de guerra "Tropic" de USA a 70 millas de Jamaica.
1931 10 01	<i>Playa Panchita, R. Veloz, Las Villas.</i> Olas que azotan este balneario. Ellas saltan el malecón inundando algunas del litoral y alcanza un metro de altura el nivel del agua, por lo que se dañan numerosos muebles. (No se reportó terremoto en esa fecha en el área del Caribe.)
1932 02 03	<i>S. de Cuba.</i> Fuerte terremoto que afecta el 80% de las edificaciones. Se reporta una ola por un buque de USA. Posteriormente fueron revisadas las cartas mareográficas de diferentes puntos en el Caribe y se llegó a la conclusión de que la ola era de poca importancia.

Tabla 2a. Continuación

Fecha a m d	Descripción
1939 08 15	<i>Cayo Francés.</i> Se reporta movimiento del mar que despierta a marinos de un barco y un yate. Evaluado de II grado en la escala de Rudolph. Se asocia al terremoto de Remedios-Caibarién.
1946 08 09	<i>Rep. Dominicana.</i> Fuerte terremoto causa grandes daños. Es seguido por un tsunami que arrasó poblaciones y cultivos, llegando el mar hasta 2.5 km tierra adentro. La ola se propagó de E a W. En Cuba se reportó fuerte oleaje en las playas de Guanabo, Marianao, Jaimanitas, Santa Fe y Baracoa (sin daños).

El otro tipo de oleaje es el eólico (variaciones complejas de la capa superficial del agua provocadas por el viento en los océanos, mares, lagos y presas), por lo que los parámetros de la ola (altura, periodo y longitud) en cualquier lugar dependen de la velocidad, la dirección y la persistencia del viento y también de las características del medio acuoso donde se desarrolla.

Para Cuba, evidentemente, el oleaje está condicionado, principalmente, por las situaciones sinópticas (ciclones tropicales [CTI]) y frontales (frentes, sures y bajas extratropicales). En el primer caso se originan grandes olas como en los casos del "Ras de mar de Santa Cruz del Sur" (1932) y del Gilbert (1988) [llegó a los 12 m de altura en el mar Caribe; catalogado el huracán más intenso de este siglo con una presión mínima central de 880 Mb y vientos superiores a 85 m/s].

Y para los casos frontales (frentes fríos), mucho más frecuentes que los CT, sus vientos son considerablemente de menor intensidad, aunque no despreciables sus efectos en los litorales y estructuras allí localizadas. Por ejemplo: la tormenta del 13 de marzo de 1993 reportó alturas en las olas de 5 m y superiores y, causó importantes afectaciones a lo largo del malecón habanero.

Esto significa que las zonas costeras del sur están sujetas a una mayor amenaza de los CT y las del norte a los frentes fríos. Pero, en relación con los primeros, resultan ser más significativos los CT que atraviesan transversalmente la isla, como el de 1932 y no como el caso del Gilbert que tuvo una trayectoria paralela a la costa sur. En consecuencia, resulta ser la parte occidental la más amenazada (Figura 7).

Las variaciones más notables del régimen térmico (atmosférico) en Cuba, están asociadas a la zonalidad altitudinal como se puede analizar a partir de Gonzalez *et al.* (1987). Así, es posible establecer la existencia de tres tipos de territorios:

Tipc	Temperatura máxima	Relativa (en grados C) mínima
Alturas y Montañas	20-30	15-20
Llanuras Interiores	30-35	15-25
Llanuras Costeras	25-35	20-23

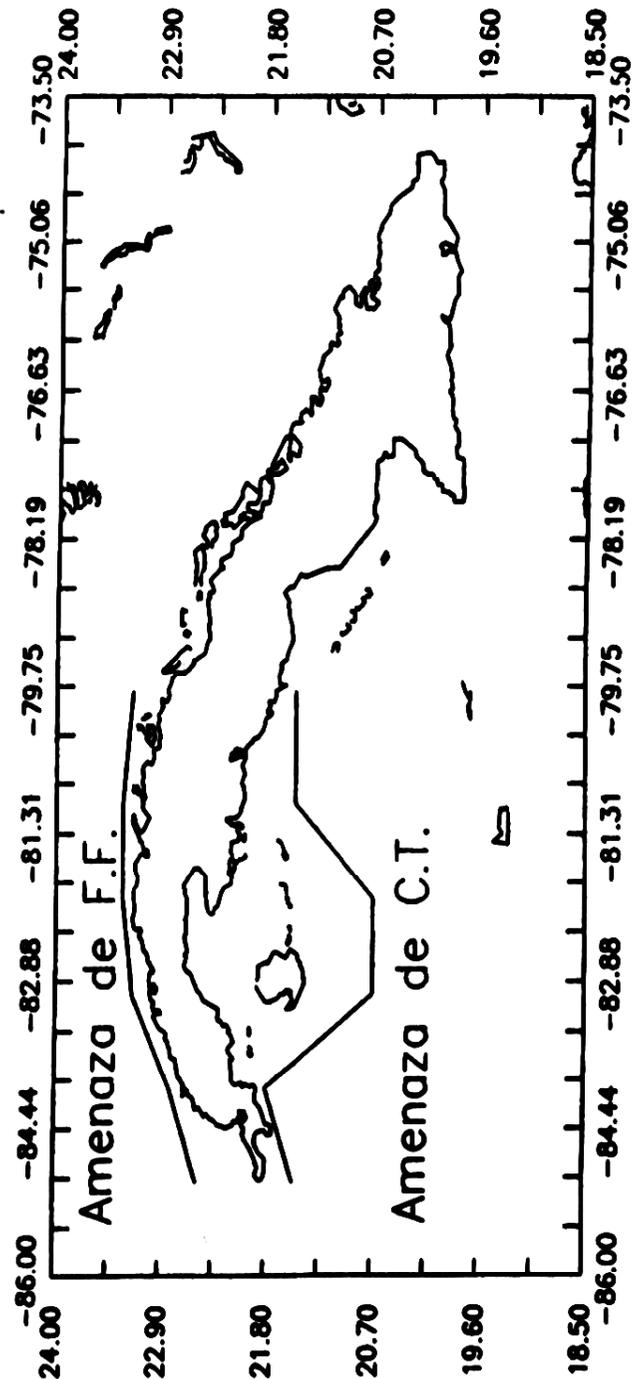


Figura 7. Amenaza por frentes fríos y ciclones tropicales.

Las velocidades máximas del viento se asocian a la ocurrencia y al paso de huracanes, ciclones, sistemas frontales, centros de bajas presiones extratropicales y tormentas locales por el territorio. De la estadística acumulada se han estimado las velocidades, con un 5% de probabilidad para dos grandes regiones: Centro-Oriental 34.2 m/s y Occidental 45.8 m/s.

De la literatura se conoce que la orografía (disposición, distribución altitud y extensión) es un elemento importante en cuanto a la transformación del régimen normal de los vientos locales. De tal forma, en la costa norte de Cuba, la dirección es del primer cuadrante y del segundo cuadrante en la sur (Rego, 1989a, b; Vega, 1989). Además, en la costa norte se produce con respecto a la costa sur, una mayor penetración del viento debido a la superposición de los procesos de brisas y alisios, lo cual puede provocar ocasionalmente, tanto la inhibición de la brisa en la costa sur, como la no producción del cinturón central convectivo.

Es conocido también que el mecanismo de la ciclicidad de la lluvia está relacionado con la influencia de la circulación atmosférica y el carácter de la superficie terrestre y las aguas marinas. Para Cuba en particular, las precipitaciones atmosféricas (lluvias) experimentan grandes cambios en espacio y tiempo; estas variaciones son debidas fundamentalmente, a tres factores: 1) Influencia de los procesos atmosféricos; 2) contrastes del relieve; 3) calentamiento desigual de la tierra y el mar.

En consecuencia de los mapas de:

- I) Precipitación media anual para los periodos:
 - a) 1931-72 (Gagua, Zarembo e Izquierdo, 1989)
 - b) 1964-83 (Izquierdo, 1989a)
- II) Precipitación media en el periodo lluvioso de:
 - a) 1931-72 (Díaz, Cisneros, Truzov o Izquierdo, 1989)
 - b) 1964-83 (Izquierdo, 1989b)
- III) Precipitación media en el periodo seco de:
 - a) 1931-72 (Truzov, Díaz e Izquierdo, 1989)
 - b) 1964-93 (Izquierdo, 1999c),

es factible colegir que la precipitación media anual alcanza la cifra de 1,375 mm y definir dos periodos: 1) lluvioso (que comprende el intervalo de mayo-octubre, con 80% del total de las lluvias); 2) seco (noviembre-abril, con 20% del total de las lluvias). Además, de acuerdo con el Instituto de Meteorología, la duración media del periodo lluvioso para el país es de 140-180 días, y en las costas de la región suroriental es menor de 100 días.

Otra observación relevante de lo hasta aquí señalado, resulta ser que los máximos de pluviosidad están localizados en las zonas montañosas y con particular significación en Sagua-Baracoa (parte septentrional) (Figura 8).

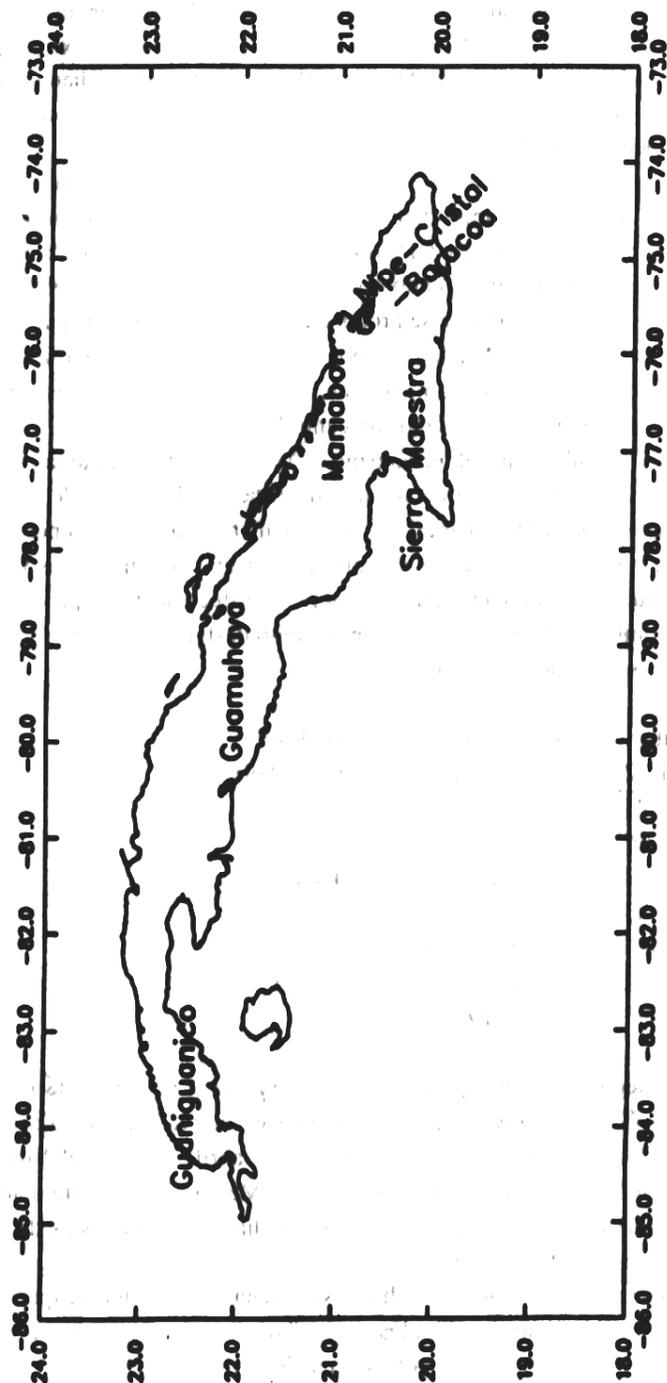


Figura 8. Zonas de mayor pluviosidad.

Los dos mapas del coeficiente de variación relativo de las precipitaciones: a) anual (Díaz, 1989a) y, b) en el periodo lluvioso (Díaz, 1989b), muestran que es en las zonas montañosas donde es menor dicho coeficiente. Esta observación resulta de importancia, ya que sustenta la estabilidad de las zonas montañosas como territorios de alta pluviosidad. Por ejemplo: en Cuba Oriental hay máximos de lluvia de 1,400 a > 3,400 mm con un coeficiente de variación relativo de las precipitaciones anuales < 0.22. Y para Cuba Occidental (Guaniguanico y Escambray), los máximos son de 1,400 a 2,400 mm y 2,000 mm respectivamente, con un coeficiente similar, < 0.24.

Es conocido que en estrecha relación con el clima está el agua, recurso natural renovable y escaso, de significación esencial para el hombre, la naturaleza y la sociedad. Sin embargo, como la distribución y la cantidad de este elemento no son homogéneas provoca que las demandas crecientes de uso se impongan, generalmente, sobre el ordenamiento científico de su explotación-renovación.

Como se expuso anteriormente, la situación espacial e insular de Cuba, con sus elementos: hidrológicos característicos (Parteaguas Principal de Primer Orden, red fluvial, zonas de inundación y pantanosas, etc.), geomorfológicos (tipos de relieve, distribución-extensión, etc.), geológicos (tipos de rocas, distribución-extensión, etc.), en combinación con las condiciones de la circulación normal de los vientos, provocan que la única fuente de alimentación del recurso hídrico sean las precipitaciones. Además, se conoce que los periodos de ocurrencia de lluvia determinan al régimen hídrico de los ríos, por lo que en el periodo de lluvias se producen las mayores crecidas, lo contrario del periodo seco.

Del mapa del escurrimiento fluvial (Karasik, 1989) se aprecia que las zonas montañosas Sagua-Baracoa y Guaniguanico (> 1,400 mm) y Sierra Maestra y Escambray (1,200 mm) aparecen resaltadas sobre un fondo general de 400 mm. Además, las componentes superficiales (Karasik, 1989) del escurrimiento fluvial, confirman de forma general los resultados. Este parámetro (escurrimiento fluvial) en Cuba se caracteriza por una significativa disminución desde el interior y hacia las costas, por supuesto en íntima relación con las precipitaciones. Así, en las zonas montañosas hay niveles de escurrimiento fluvial por encima de los 1,000 mm.

El mapa de erosión potencial de los suelos de Cuba (Riverot y Shepashenko, 1989) ofrece a partir de un análisis de tres elementos: precipitación media anual, roca y depósitos subyacentes, y relieve, una valoración en cinco niveles de la erosión. En el mismo se destacan las zonas montañosas como las de grado más fuerte y en particular, para la Unidad Neotectónica Oriental por su propagación superficial. En la U.N. Occidental hay predominio de los grados inferiores, sin erosión y débil. De este material es factible deducir su relación con las condiciones físico-geográficas, incluidos el drenaje y el clima.

El territorio cubano desde el punto de vista ingeniero-geológico se caracteriza (para las rocas fundamentales) por un mosaico de complejos rocosos de los tipos:

rocoso, semirrocoso, rocoso / semirrocoso, semirrocoso / plástico y semirrocoso / arenoso con formaciones de los tipos: carbonatada, terrígena, efusivo-sedimentaria, intrusiva y metamórfica, mientras que para las rocas superpuestas por tres complejos (arenoso, plástico-arenoso y plástico-orgánico) (Pérez, 1989). Así, del mapa de ingeniería geológica de Cuba (Pérez, 1989) apreciamos que las zonas de montaña están representadas por complejos rocosos y las zonas de altura por complejos rocoso y semirrocoso; mientras que las zonas de llanuras están dadas por rocas superpuestas. Este elemento es básico para comprender en principio, los sistemas de fracturación / desplazamiento, así como la respuesta a los esfuerzos tectónicos.

Se tiene del mapa de procesos exógenos recientes de Cuba (Blanco, 1989) que hay predominio del tipo genético denudativo, mientras que el tipo acumulado está limitado a las zonas costeras y de inundación permanentes. En particular, en las zonas montañosas prevalecen los procesos erosivo-denudativos, en la zona del Cauto el denudativo, y en la mayor parte de la U.N. Occidental los de tipo cársico y cársico-denudativo. Formas denudativas del tipo gravitacional como derrumbes, corrimientos y deslizamientos están identificadas en las zonas montañosas.

Cotilla (inédito) confeccionó un esquema Neotectogénico que está conformado por un conjunto seleccionado de elementos de: geología, tectónica y geofísica y que no es ningún mapa sismotectónico, ni uno de zonas sismogeneradoras, y que debe ser la base de otros esquemas aplicados de geofísico y geológico (como el caso que proponemos aquí). A partir de él, es factible delimitar regiones, áreas, zonas y líneas activas desde el punto de vista neotectónico, con las recomendaciones indispensables para mejorar el conocimiento general del riesgo geólogo-geofísico del archipiélago cubano. Específicamente del Esquema Neotectogénico nos interesan las líneas de debilidad tectónica actual y que aparecen en la Tabla 3 (Figura 9).

Tabla 3
Zonas de debilidad tectónica actual

Categoría	Nombre	Características principales
1ra.	Barlett-Caimán (1)	Límite de Placas Litosféricas. Longitud > 1,000 km; ancho de 50-200 km
2da. A	Nortecubana (2) y Surcubana (3)	Límites de megabloque. Longitud > 1,000 km; ancho de 5-50 km
2da. B	Cauto-Nipe (4)	Límite de Unidades Neotectónicas. Longitud de 250-300 km; ancho 3-30 km
	La Trocha (5)	Límite de macrobloques. Longitud de 200 km aproximadamente; ancho 5-30 km
	Pinar (6)	Límite de macrobloques. Longitud de 180-250 km; ancho 5-20 km
	Las Villas (7)	Límite de macrobloques. Longitud 180- 230 km; ancho 5-30 km

Tabla 3. Continuación

Categoría	Nombre	Características principales
3ra.	Guane (8)	Límite de mesobloques. Longitud de > 250 km; ancho 10-30 km
	Cochinos (9)	Límite de mesobloques. Longitud de 200 km aproximadamente; ancho 5-30 km
	Hicacos (10)	Límite de mesobloques. Longitud de 180-230 km; ancho 5-20 km
	Camagüey (11)	Límite de mesobloques. Longitud de 200 km aproximadamente; ancho 5-30 km
	Purial (12)	Límite de mesobloques. Longitud aproximada de 90 km; ancho 4 km
	Cienfuegos (13)	Límite de mesobloques. Longitud 85 km; ancho 10 km
	Tuinicú (14)	Límite de mesobloques. Longitud aproximada 130 km; ancho 10 km
	Cubitas (15)	Límite de mesobloques. Longitud aproximada 190 km; ancho 5-10 km
	Consolación del Norte (16)	Límite de mesobloque. Longitud 130 km; ancho 5-10 km
	Baconao (17)	Límite de mesobloques. Longitud de 200 km; ancho 5-10 km
	Guamá (18)	Límite de mesobloques. Longitud de 110 km; ancho 5-15 km

Línea de Debilidad Tectónica Actual, es una falla que se reconoce a partir del complejo de indicadores geológicos, geofísicos y sismológicos (incluidos sus métodos de detección). En ella se considera están localizadas las zonas y los sectores de mayor riesgo geólogo-geofísico en la etapa neotectónica.

En la categorización de las líneas de debilidad tectónica actual fueron considerados fundamentalmente los siguientes elementos: 1) Historia; 2) Dimensiones de los bloques delimitados; 3) Amplitud de los movimientos neotectónicos, y 4) Magnitud/intensidad sísmica.

Notas del paisaje y la contaminación

Para Cuba, dada su situación geográfica, sus características del relieve y condiciones geológicas en relación con su extensión superficial y figura, expuestas en párrafos anteriores, resulta evidente que ella se distingue, atendiendo al paisaje geográfico de los territorios vecinos.

La actividad del hombre sobre el paisaje del archipiélago desde la etapa precolumbina, aunque muy limitada, se reconoce en áreas aisladas de las costas (las más) y del interior. Luego, en la colonización con el drástico aumento de la población, la explotación minera, las producciones azucarera-tabacalera, fundamentalmente, y la edificación de villas y poblados, la construcción de embarcaciones, etc., conllevaron al uso y explotación indiscriminados de los recursos naturales con las consi-

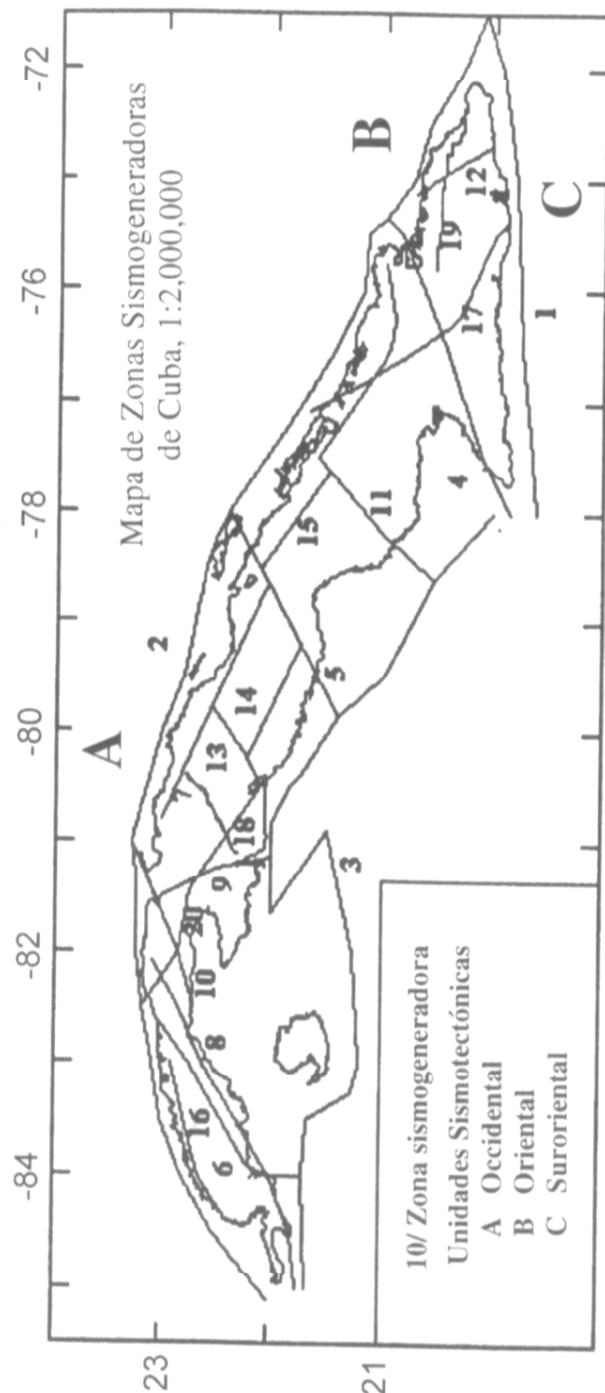


Figura 9. Líneas de debilidad tectónica actual.

güentes afectaciones y modificaciones al paisaje. La etapa posterior, ya en la constitución de la República, la tendencia fue a una mayor transformación del paisaje, por lógicas razones de incremento poblacional y medios técnicos. Incluso, luego del año 1959 se continúa por tal derrotero, aunque ya se toman medidas de preservación de zonas y territorios, las transformaciones del paisaje persisten como explica (Íñiguez, 1989).

De Íñiguez (1989) apreciamos que el 80% del territorio cubano tiene sus áreas fuerte y medianamente modificadas. Y que aproximadamente, un 50% está fuertemente modificada, coincidiendo ellas con las zonas montañosas del norte de Cuba oriental (Moa-Nicaró) con las de Cuba occidental (Matahambre), territorios sometidos a la actividad mineral, y las áreas de localización de los mayores embalses de agua y ciudades. Sólo estrechas bandas costeras, a veces interrumpidas, poseen las categorías de débilmente modificada y naturales-débilmente modificada. Sin embargo, quedan fuera de tal análisis, la actividad portuaria y la de explotación-extracción petrolera. Es decir, que tales elementos antrópicos descubren "vectores" de contaminación al traer consigo, además de los derrames de residuales y productos químicos necesarios para el proceso de trabajo, etc., una transformación grande del paisaje para la creación de facilidades, a la explotación como: caminos, comunidades, tendido eléctrico, etc.

A manera de ejemplificar un tanto lo expuesto, recurrimos a algunas notas de resultados alcanzados en la temática ambiental por especialistas nacionales. Ya dos investigadores, D. Berdellans y M. González (Comunicación Personal), mostraron a partir del empleo de la teledetección, la contaminación por vertimientos diversos (incluido petróleo) en el agua de la bahía de La Habana y que puede estar presente en otras bahías y puertos como Santiago de Cuba, Cienfuegos, etc.

Por otra parte, Primelles *et al.* (1990) señalan:

El territorio de Nuevitas (al norte de la provincia de Camagüey que posee un puerto de importancia para la industria azucarera), incluyendo sus aguas adyacentes, ha experimentado cierta degradación como resultado del impacto causado por el acelerado desarrollo industrial y urbanístico que ha tenido lugar en la región a partir del triunfo revolucionario y por el mal manejo de sus recursos que nos dejó como herencia el capitalismo. Así, el comportamiento por categorías de degradación es como sigue: moderada 40%, parcial 30%, mediana 16%, fuerte 8% y muy fuerte 4%. (Esto, con independencia del matiz político, lógicamente puede ser extrapolado a otras muchas áreas similares del país).

Nieves y Prilipko (1988) determinaron que el cambio de temperatura del aire en diferentes áreas de Ciudad de La Habana depende de las oscilaciones de la intensidad y la migración de la "isla de calor". (Esto es sólo un ejemplo demostrado y que a pesar de tener repercusiones directas en la salud de la población, lamentablemente no ha sido extendido aún al resto del territorio y tampoco se ha profundizado en él.)

Resultados de Marrero *et al.* (1989) y de otros especialistas demuestran que 1 x 1,000,000 hectáreas de suelos cubanos presentan afectaciones por salinidad, siendo sus principales áreas las de Cuba oriental y central. Ellas se encuentran asociadas a las zonas costeras en que es frecuente la penetración del mar; de tal forma, que esos suelos se localizan (al natural) en los valles de Guantánamo y del Cauto, mientras que el resto de los suelos salinos y salinizados son debido a la actividad antrópica. Lógicamente, para que ocurra la salinización son necesarios: elevación del manto freático mineralizado, regadío con aguas salinizadas en zonas de ausencia de drenaje (llanuras de poca pendiente), la existencia de sales solubles en el subsuelo y mal manejo tecnológico (rotación de cultivos deficiente, etc.); observándose que existe una tendencia al aumento de las sales en los suelos.

De acuerdo con el Instituto de Hidroeconomía (1982), durante la preparación de la segunda versión del mapa de calidad de las aguas subterráneas, en que se evaluó el Índice de Calidad, a partir de ocho elementos contaminantes y con 2,450 de punta, fue posible determinar que existen 810 focos de contaminación en Cuba. De ellos, el 75% corresponde a contaminación de tipo orgánica.

Un último elemento, al que sólo mencionaremos a pesar de ser muy importante, ya que no disponemos de datos, se refiere a la posible contaminación por la explotación de yacimientos o menas con minerales radioactivos. Este tipo de laboreo, como cualquier otro, debe provocar la alteración de la línea base ambiental, pero en este caso, lógica y evidentemente, tiene una connotación más fuerte por ser alterado el fondo radioactivo.

Línea base y otras actividades antrópicas

En general, en las evaluaciones de riesgo geológico y ambiental para regiones, zonas y áreas, es práctica común delimitar la línea base (LB). Para ello se recurre a investigaciones con equipos multidisciplinarios de especialistas que esclarecen, *in situ*, la actual situación del medio y su estabilidad antes de comenzar la actividad o las actividades de trabajo/explotación. Esto es lo recomendable, pero en muchas ocasiones, la LB es menester establecerla durante el proceso de construcción o luego de ejecutada la obra y tal vez en explotación. Para todos estos casos hay experiencias y formas de enfrentar las tareas (Méndez, 1992). Y añadimos que dada la premura por necesidades del inversionista se pueden vulnerar algunas normas como la de conformar incorrectamente el equipo multidisciplinario.

Sin embargo, la LB debe tener un nivel de ponderación en cuanto a los procesos que involucre. Es decir, sin desconocer ninguno de ellos para un territorio de tectónica activa, hay que valorar en primer lugar el tipo de obra (categoría) que se pretende ejecutar y su incidencia en el patrón sísmico local. Así, para la construcción de una obra hidrotécnica, por ejemplo una presa, hay varias cuestiones imprescindibles que deben examinarse como: la estabilidad tectónica de la región/área. Lo cual no

sólo conlleva el conocimiento de su constitución geológica, sino la medición del fondo de ruido sísmico en tres etapas distintas: antes, durante y después del llenado del vaso. Esta tarea de monitoreo alcanza un nivel mucho más relevante cuando en las inmediaciones de la obra, existe un elemento tectónico disyuntivo en que ha ocurrido al menos un sismo fuerte. El tener satisfecho este requerimiento es la única manera en que puede asegurarse que hay conocimiento de la LB.

De igual forma sucede con la construcción de una central electronuclear, aunque para ambos casos exista un amplio y voluminoso paquete de complejas investigaciones. Éstas son obras que internacionalmente son denominadas de primera categoría y en consecuencia, hay que esclarecer muy bien cuál elemento es el más significativo o de más importancia para la LB (Méndez, 1992).

El Esquema de Regionalización del Potencial de Amenaza Geológica que presentamos a continuación, pretende ser la LB general de Cuba.

Esquema de amenaza geológica de Cuba

Para esclarecer la situación actual de la amenaza geológica en Cuba es necesario sistematizar la base informativa y en consecuencia establecer una jerarquización. Por tal motivo, los autores sostienen que al enfrentar la tarea, difícil por demás, de estudiar los riesgos geológicos se debe partir de la creación de un plano o plataforma regional que a su vez haya contemplado previamente al nivel superior; luego es factible analizar de conjunto, las "contribuciones" de todos los elementos sometidos a riesgo, para entonces proceder a la delimitación de las regularidades y peculiaridades de ese "conjunto-unión". Es decir, establecer la "llave".

El concepto de riesgo geológico es muy amplio y complejo; por lo que enfrentar una tarea como la planteada, es difícil aunque no imposible. Aquí empleamos una variante alternativa, la evaluación de lo que llamamos "Amenaza Geológica" en un marco más reducido, pero aún amplio y complejo, donde se identifican y localizan las zonas de diversa dimensión que están sujetas principalmente a eventos geológicos activos y se elude, inteligentemente y en primera instancia, los económicos y locales.

Amenaza Geológica es un concepto que permite caracterizar en su dinámica, a grandes territorios desde el punto de vista geológico sobre la base de un conjunto de elementos que pueden constituir una real amenaza o contribuir a desencadenar otros procesos adversos al sistema paisaje-hombre. En este sentido, se concibe a la geología en su más amplia acepción y en interrelación con otras especialidades que permiten estudiar de conjunto aquellos elementos y características que inciden peligrosamente sobre el territorio.

Aquí haremos referencia a algunos aspectos importantes para exponer el Esquema de Regionalización del Potencial de Amenaza Geológica. No insistiremos en la localización geodinámica de Cuba, ya que esta cuestión se abordó al inicio del

trabajo y sólo señalaremos que las principales zonas de amenaza geológica están localizadas en las franjas de interacción dinámica de las placas litosféricas. En ellas concurren varios elementos: 1) Terremotos; 2) Vulcanismo; 3) Procesos gravitacionales (pendientes, derrumbes, etc.); 4) Procesos colaterales a estos anteriores (licuefacción, inundación, etc.); 5) Superpoblamiento; 6) Deficiencias constructivas (diseño/construcción).

Las franjas globales de mayor amenaza (Grado I) están fuera de los límites de la placa Caribe y aún más lejos del sector donde está emplazada Cuba.

Para la región Caribe, las franjas regionales de mayor amenaza (Grado II) están en los bordes Pacífico y Atlántico, alejados, también de Cuba. Para el borde norte, tramo de tectónica compleja (sistema de fallas Banien-Caimán-Norte de La Española-Puerto Rico-Islas Vírgenes), el sector de mayor nivel (Grado III) está localizado al norte de La Española. En particular para Cuba, el sector suroriental es el de mayor nivel de amenaza (Grado IV) del país y su porción de Pílon-Baconao es el más significativo (Figura 10).

A partir de la muy amplia base de datos, a escala 1:50,000, preparada para toda Cuba en el periodo 1981-1990 como parte de los trabajos de construcción de dos mapas especiales [Morfoestructural (González *et al.*, 1983) y Neotectónico (González *et al.*, 1985)], fue posible vencer una etapa muy importante para lograr el Esquema de Regionalización de Amenaza Geológica. Estos datos iniciales incluyen: topografía, disección vertical, disección horizontal, pendientes medias, superficies básicas, diferencias de superficies básicas, y otros, los cuales se representaron en cuadrículas de 1 km².

La confección de un mapa de Energía del Relieve, escala 1:1,000,000, donde se visualizan las zonas y áreas con las características más significativas del relieve actual del archipiélago cubano, y la valoración zonal (conjunta e individual) de todos los mapas geomorfológicos especiales (datos iniciales), previamente pantografiados a la escala señalada, unido a resultados de tipo edafológico, cismático, y otros más, permitieron los análisis cualitativo y cuantitativo.

De la misma forma, la reevaluación zonal conjunta, con el objetivo de la AG, de los Esquemas Morfoestructural y Neotectónico de Cuba, escala 1:250,000, de alineamientos y densidad de alineamientos (escala 1:1,000,000) con las informaciones cismáticas, hidrológicas, edafológicas, ingeniero-geológicas, etc. y de los datos de sismicidad [intensidad máxima a esperar en 100 años y epicentros] (escala 1:1,000,000) y geofísica (1:500,000 y 1:2,000,000) incidieron considerablemente en la clasificación. El resultado de este análisis se refleja en el Esquema de Regionalización del Potencial de Amenaza Geológica de Cuba, escala 1:3,000,000 (escala original 1:1,000,000) (Figura 11).

La taxonomía aplicada a Cuba en el Esquema de Regionalización del Potencial de AG, está dada por: las particularidades neotectónicas refrendadas en las U.N., las características de las tres U.S. en su directa relación con la sismicidad y los elemen-

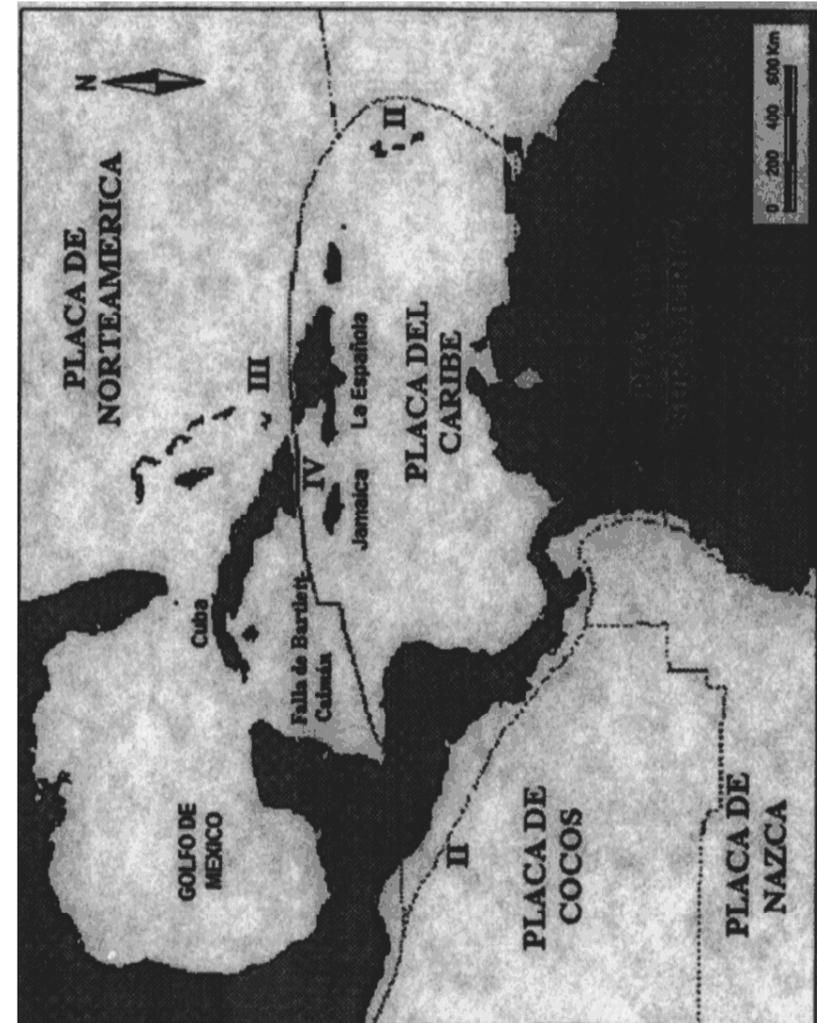


Figura 10. Peligrosidad o amenaza geológica en el Caribe.

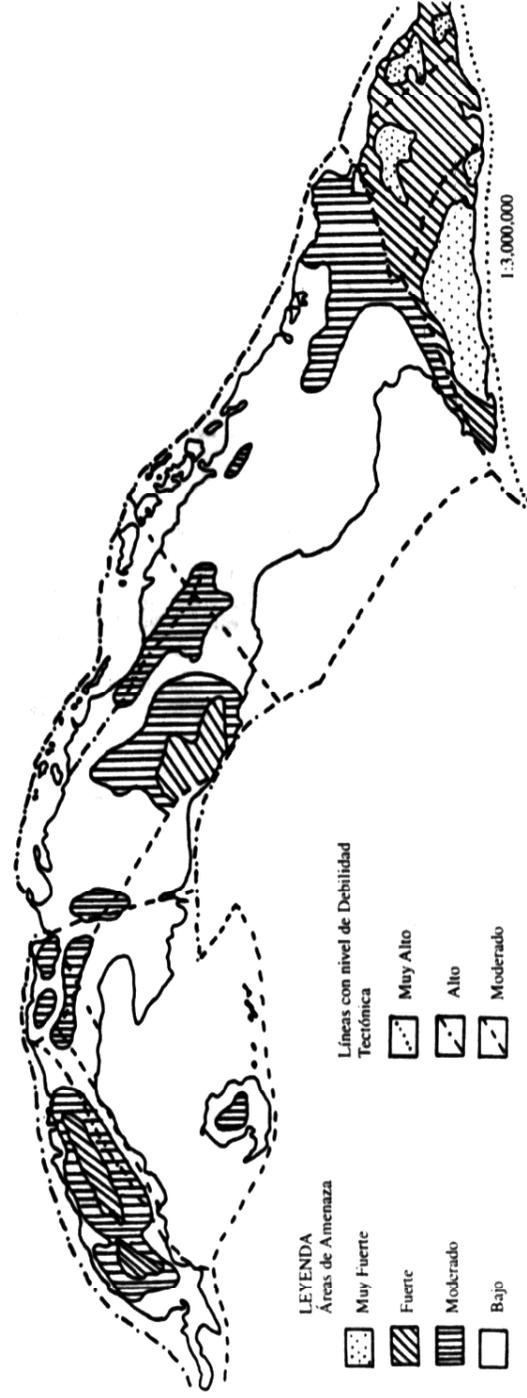


Figura 11. Esquema de Regionalización del Potencial de Amenaza Geológica de Cuba.

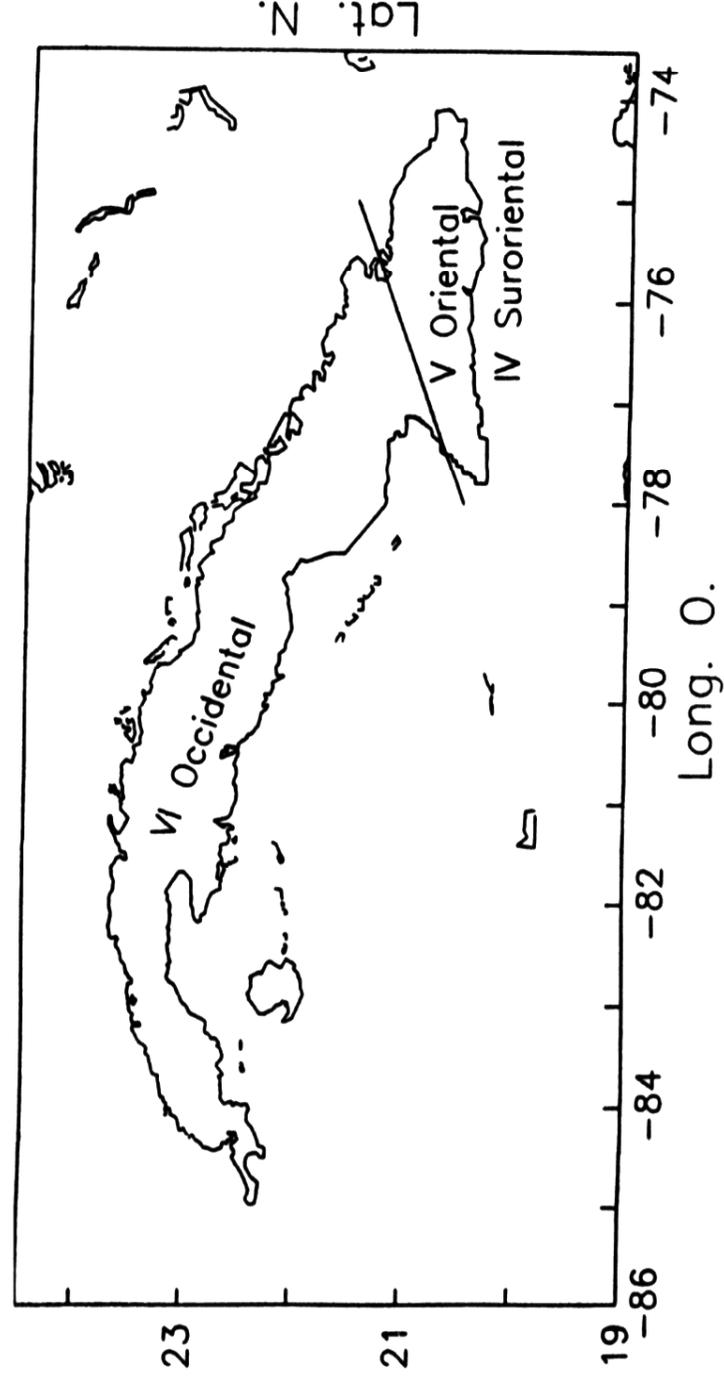


Figura 12. Peligrosidad o amenaza geológica en Cuba.

tos sismogeneradores; las condiciones hidrológicas; y las regularidades climáticas. En tal contexto, son delimitadas dos Unidades por el nivel de Amenaza Geológica (UAG): Occidental y Oriental (Grados VI y V respectivamente en orden de importancia global). Estas dos Unidades están separadas por el sistema de fallas activas de Cauto-Nipe (relacionadas directamente con el sistema de fallas B-C), por las que se propone cruza la línea límite de las subregiones climáticas del Caribe (Cuba Occidental-Cuba Oriental) y coinciden espacialmente con las Unidades Neotectónicas de Cotilla *et al.*, 1991a (Figura 12).

El paso de este nivel de escala global a uno regional que permita analizar desde el punto de vista de la AG, zonas de un pequeño territorio como Cuba, implica la consideración de otros factores más específicos, y la profundización jerárquica en la taxonomía. Esto significa que en la continuación del proceso de jerarquización de la AG, hay que analizar los valores y condiciones predominantes de todos los elementos y, siempre, sobre la base de su importancia (niveles de influencia) en el territorio cubano. Por consiguiente, se insiste en que el Esquema de la Regionalización del Potencial de Amenaza Geológica no particulariza zonas y tampoco sustituye evaluaciones de riesgo, amenaza o impacto por algunos de los parámetros utilizados en su confección.

Para este análisis regional de la AG se consideró necesario aplicar una escala de importancia relativa, de cada uno de los parámetros utilizados. De esta forma, la sismicidad ocupa la primera categoría, le siguen la geología-tectónica (2da.), el relieve (3ra.), el clima (4ta.) y otros (5ta.). Esquemáticamente será así:

$$AG = S+G/T+R+C+O$$

Estas categorías demuestran tener una estrecha y compleja interrelación en espacio y tiempo. Por ejemplo, la sismicidad está dada por las condiciones geodinámicas y la situación geólogo-tectónica actual de un territorio, dado en el contexto del heterogéneo y complejo cuadro de las placas litosféricas. Además, resulta evidente que las mayores afectaciones de un territorio localizado en una zona tectónicamente activa se deben a la ocurrencia de terremotos. Este tipo de fenómeno natural tiene una amplia gama de procesos secundarios perjudiciales al hombre y al medio natural, de ahí su ponderación.

La posición tectónica actual de un territorio y la configuración de su plano geodinámico con sus condiciones de frontera, que incluyen las dimensiones de las estructuras disyuntivas (desde el orden de placa hasta el de meso), así como la historia de su desarrollo representan una categoría importante (segunda) en la evaluación de la AG.

El relieve, con sus categorías, como un resultado de la interacción dinámica y dialéctica de los procesos endógenos y exógenos, y como escenario de los aconte-

cimientos clasifica perfectamente con una importancia de cuarto orden en cuanto a la evaluación de la AG.

El clima (algunas de sus variables) se ve modificado y en algunos casos determinado por el relieve, pero a su vez él influye en la alimentación de la red fluvial, la distribución y los tipos de vegetación, etc., y estos últimos inciden sobre el relieve y en consecuencia, en las condiciones de estabilidad de un territorio. Esto, al margen de que los CT pueden modificar el relieve. Aclaramos que el clima puede tener en análisis (regionales y locales) de otro propósito, una categoría diferente a la aquí designada.

Concretamente, la combinación geología-tectónica también comprende intrínsecamente la historia y la evolución de las estructuras de diferente génesis, edad y composición en la conformación del neoplano. Y este último presenta diversas características en cuanto al relieve (disposición, configuración, altitud, área, etc.) y a su vez éste depende de las condiciones geológicas e ingeniero-geológicas, además de que el relieve es la geosfera o escenario donde se manifiestan los efectos de los procesos endógenos y exógenos. Es decir, se aprecia que existe interacción entre los parámetros utilizados.

Sobre esta base esquemática inicial y con los datos disponibles (discutidos en epígrafes anteriores) se decidió, para alcanzar un primer esquema, la utilización de cinco (5) indicadores fundamentales en la categorización por niveles de la AG. Estos indicadores y sus porcentajes de influencia son: 1) Intensidad de los terremotos [50%]; 2) densidad de fallas [20%]; 3) intensidad de movimientos neotectónicos [15%]; 4) tipo de relieve [10%]; y 5) frecuencia de huracanes [5%].

De la aplicación de esos indicadores al conjunto informativo Universo, se pudo establecer que para Cuba hay cuatro (4) niveles de AG que hemos designado como: *muy fuerte, fuerte, moderada y baja* y que, lógicamente, están en directa relación con áreas de diferente localización-extensión, altitud, etc. (Figura 11).

Del Esquema Neotectogénico de Cotilla (inédito) se incorporan las Líneas de Debilidad Tectónica Actual.

Y como zona de alineamientos, aún sin clasificación, tenemos a Habana-Cienfuegos (19) y Nipe-Cristal-Baracoa (20) con longitudes de 210 y 180 km, respectivamente.

Resalta en la composición del esquema de AG de Cuba, la diferenciación espacial de las Unidades con su límite tectónico común, Cauto-Nipe. Tres líneas de debilidad tectónica actual limitan a la U. de A.G. Oriental [Bartlett-Caimán (nivel muy alto), Nortecubana y Cauto-Nipe (ambas de nivel alto)]; mientras que la U. de A.G. Occidental queda limitada por dos líneas de alto nivel [Nortecubana y Cauto-Nipe], y una línea donde hay combinación de nivel alto y nivel moderado [Surcubana].

La experiencia cartográfica de los temas sismológico, geomorfológico, geológico, geofísico y neotectónico fue adecuada convenientemente a los objetivos del traba-

jo, la amenaza geológica. Por ello, en la cartografía de los resultados obtenidos se tuvo especial cuidado en la representación espacial de las diferentes zonas afectadas y sus magnitudes correspondientes. Los símbolos y el fondo cualitativo empleados facilitan la lectura del esquema.

Conclusiones

Luego de lo aquí expuesto y desarrollado se concluye que:

- 1) Se introdujo el concepto de Amenaza Geológica como una alternativa más viable hacia la regionalización del territorio cubano que la de Riesgo Geológico.
- 2) Es factible realizar una regionalización de la Amenaza Geológica para Cuba a partir de la evaluación de un conjunto de variables que caracterizan al campo geológico en su más amplia acepción y que se erige como la Línea Base General.
- 3) Desde el grado global hay en el neoplano cubano dos Unidades de Amenaza Geológica, Occidental y Oriental, siendo la segunda la de mayor importancia. Ellas a su vez poseen cuatro niveles inferiores a la mayor posible (Muy Fuerte, Fuerte, Moderada y Baja), además este neoplano posee un conjunto de 15 líneas de debilidad tectónica actual.

Referencias

- Alisov, B.P. "Zonas Climáticas de la Tierra", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 1.2, 1989.
- Barranco, G. y Díaz, L.R. "Regiones Climáticas y Tipos de Clima", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 1.2, 1989.
- Batista, J.L. "Densidad de la Red Fluvial", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VII, 1.2, 1989a.
- . "Variabilidad del Esguerrimiento Fluvial", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VII, 1.3, 1989b.
- Blanco, P. "Mapa de Procesos Exógenos Recientes de Cuba", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* IV, 2.4, 1989.
- Cotilla, M.O.; González, E.; Franzke, H.J.; Comesañas, J.; Oro, J.; Arteaga, F. y Álvarez, I. "Mapa Neotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000", en: *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, ACC*, no. 22, 37 pp., 1991a.
- Cotilla, M.O.; Bankwitz, P.; Franzke, H.J.; Álvarez, L.; González, E.; Díaz, J.; Grünthal, G.; Pilarski, J. y Arteaga, F. "Mapa Sismotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000", en: *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, ACC*, no. 23, 35 pp., 1991b.
- Cotilla, M.O. "Una Caracterización Sismotectónica de Cuba", Tesis con opción al grado de Doctor en Ciencias Geográficas, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 1993.

- Cotilla, M.O.; Rubio, M.; Álvarez, L. y Grünthal, G. (inédito) "Potenciales Sísmicos del Arco de Las Antillas Mayores", 18 pp.
- Cotilla, M.O. (inédito) "Fundamentos para la Regionalización de la Amenaza Geológica de Cuba".
- Cuevas, J. "Caracterización de Anomalías de la Gravedad en Cuba Centro Oriental y su Utilización en Estudios de Tectónica y Sismicidad", Tesis con opción al grado de Doctor en Ciencias Geofísicas, Inst. de Geofísica y Astronomía, ACC, 1994.
- Díaz, J.L. "Morfoestructura de Cuba Occidental y su Dinámica", Tesis para la obtención del grado de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas, Moscú, 1985.
- Díaz, L.R.; Cisneros, I.; Trusovi, I. e Izquierdo, A. "Precipitación Media en el Periodo Lluvioso 1931-1972 (Mayo-Octubre)", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 3.2, 1989.
- . "Coeficiente de Variación Relativo de las Precipitaciones Anuales", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 3.1, 1989a.
- . "Coeficiente de Variación Relativo de las Precipitaciones en el Periodo Lluvioso (Mayo-Octubre)", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 3.2, 1989b.
- Gagua, G.; Zarembo, S. e Izquierdo, A. "Precipitación Media Anual 1931-1972", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 3.1, 1989.
- González, E.; Cañete, C.; Díaz, J. y Carral, R. "Mapa Morfoestructural de Cuba, escala 1:250,000", Centro de Investigaciones Geológicas, MINBAS, 1983.
- González, C.; Lecha, L., Campos, A. *et al.* "Atlas Climático de Cuba", Inst. de Meteorología, ACC e Inst. de Geodesia y Cartografía, MINFAR, 1987.
- González, E.; Díaz, J.; Pérez, J. y Cotilla, M. "Esquema Neotectónico de Cuba, escala 1:250,000", en: *Rev. Serie Ocológica*, no. 1, 1634 pp., Centro de Inv. y Des. del Petróleo, MINBAS, 1989.
- Hernández, J.R. "Geomorfología Estructural y Geodinámica Reciente del Relieve del Sudeste de Cuba (en la zona de interacción de la microplaca cubana y la fosa profunda de Bartlett)", Tesis para la obtención de candidato a Doctor en Ciencias Geográficas, Moscú, 1989.
- Instituto de Hidroeconomía. "El Desarrollo de la Hidroeconomía en la República de Cuba", 1982.
- Íñiguez, L. "Esquemas Evolutivos y de Modificación Antrópica", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* XII, 2.2.3, 1989.
- Iturralde-Vinent, M.A. "Los Movimientos Tectónicos de la Etapa de Desarrollo Platafórmico de Cuba", Informe Científico-Técnico No. 20, Inst. de Geología y Paleontología, A.C.C., 1977.
- Izquierdo, A. "Precipitación Media Anual 1964-1983", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 3.3, 1989a.
- . "Precipitación Media en el Periodo Lluvioso 1964-1983 (Mayo-Octubre)", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 3.3, 1989b.

- . "Precipitación Media en el Periodo Seco 1964-1983 (Noviembre-Abril)", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 3.3, 1989c.
- Karasik, G.Ya. "Mapa del Escurrimiento Fluvial", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VII, 1.3, 1989.
- . "Mapa de la Componente Superficial del Escurrimiento Fluvial", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VII, 1.3, 1989.
- Mann, P. y Burke, K. "Neotectonics of the Caribbean Region," *Reviews of Geophysics and Space Physics*, vol. 22, no. 4, pp. 309-362, November, 1984
- Marrero, A.; Pérez, J.M.; Suárez, E. y Vega, E. "Mapa de suelos de Cuba", en: *Nuevo Atlas de Cuba* IX, 1.2.2-1.2.3, 1989.
- Méndez, E. "Gestión Ambiental y Ordenación Territorial", Consejo de Publicaciones, Consejo de Estudios de Postgrado, Universidad de Los Andes, 184 pp., 1992.
- Molnar, P. y Sykes, L.R. "Tectonics of the Caribbean and Middle America Regions from Focal Mechanism and Seismicity," *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, vol. 80, no. 9, pp. 1639-1684, 1969.
- Mossakovsky, A.; Pusharovski, Yu. *et al.* "Mapa Tectónico de Cuba, escala 1:500,000", Instituto de Geología y Paleontología, ACC, 1989.
- Nieves, M.E. y Prilipko, G. "Urbanismo y Régimen Térmico", en: *Rev. Arquitectura y Urbanismo*, vol. IX, no. 3, pp. 8-12, 1988.
- Pérez, N. "Mapa de Ingeniería Geológica", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* 111, 3.4, 1989.
- Primelles, J.; Rodríguez, E. y Ramos, L. "Evaluación de las Condiciones Ambientales de la Ciudad de Nuevitás y sus Alrededores", en: *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, no. 17, pp. 92-112, 1990.
- Ramírez, E. y Sosa, M. "Mapa de Costas", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* IV, 3.4, 1989.
- Rego, J.S. "Campo de Presión y Vientos en Enero", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 2.3, 1989a.
- . "Campo de Presión y Vientos en Julio", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 2.3, 1989b.
- Riverot, M. "Mapa de Erosión Actual de los Suelos", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* IX, 1.4, 1989.
- Riverot, M. y Shepashenko, G. "Mapa de Erosión Potencial de los Suelos", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* IX, 1.4, 1989.
- Rodríguez, N. "Estudio del Oleaje", Informe Cient. del Inst. de Meteorología, ACC, 1983.
- Rodríguez, J. "Mapa de la Componente Subterránea del Escurrimiento Fluvial", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VII, 1.3, 1989.
- Rodríguez, M. "Trayectoria de los Huracanes de Gran Intensidad que han Azotado a Cuba 1844-1985", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 2.1, 1989.
- Rubio, M. "Ocurrencia de Tsunamis en el Caribe", *Inv. Sism. en Cuba*, no. 2, pp. 170-180, Inst. de Geofísica y Astronomía, ACC, 1982.
- Sykes, L.R.; McCann, W.R. y Kafka, A.L. "Motion of Caribbean Plate During Last 7 Million Years and Implications for Earlier Cenozoic Movements," *Jour. Geoph. Res.*, vol. 87, no. 813, pp. 10656-10676, 1982.
- Trusov, I. "Coeficiente de Variación Relativo de las Precipitaciones en el Periodo Seco (Noviembre-Abril)", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 3.2, 1989.
- Trusov, I.; Díaz, L. e Izquierdo, A. "Precipitación Media en el Periodo Seco de 1931-1972 (Noviembre-Abril)", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 3.2, 1989.
- Vega, R. "Velocidad Máxima del Viento", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 2.3, 1989.
- Vidaillet, J. "Ritmo Anual de las Precipitaciones", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* VI, 3.4, 1989.