

**GEOLOGÍA
DE CUBA
para todos**

GEOLOGÍA DE CUBA para todos

**Colectivo de Autores
Editor Científico
Prof. Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent**



Editorial Científico-Técnica, La Habana, 2009

Edición: Lic. Gilma Toste Rodríguez
Diseño de cubierta: Jorge Álvarez
Diseño interior: Carmen Padilla
Realización de imágenes: Caridad Castaño Jorge
Corrección: Lic. Gilma Toste Rodríguez
Emplane: Irina Borrero Kindelán

© Manuel A. Iturralde-Vinent, 2009
© Sobre la presente edición:
Editorial Científico-Técnica y Sociedad Cubana de Geología

ISBN 978-959-05-0517-1

INSTITUTO CUBANO DEL LIBRO
Editorial Científico-Técnica
calle 14 no. 4104. e/ 41 y 43, Playa,
Ciudad de La Habana, Cuba.
e-mail: editorialmil@cubarte.cult.cu



Colectivo de autores



Edición Científica

Prof. Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent

Museo Nacional de Historia Natural

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

Autores

Prof. Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent

Museo Nacional de Historia Natural

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

Ing. Rolando Batista González

Instituto de Geología y Paleontología

Ministerio de la Industria Básica

Dra. Xiomara Casañas Díaz

Instituto de Geología y Paleontología

Ministerio de la Industria Básica

Dr. Tomás Chuy Rodríguez

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

Dr. José A. Díaz Duque

Viceministerio de Medio Ambiente

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

Dr. Reynerio Fagundo Castillo

Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional
Ministerio de de Salud Pública

Dra. Berta González Raynal

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

Dr. Carlos Pérez Pérez

Instituto de Geología y Paleontología
Ministerio de la Industria Básica

Ing. Mabel Rodríguez Romero

Oficina Nacional de Recursos Minerales
Ministerio de la Industria Básica

Dr. Rafael Tenreiro Pérez

Unión CubaPetróleo
Ministerio de la Industria Básica

Dra. Silvia Valladares Amaro

Centro de Investigaciones del Petróleo
Ministerio de la Industria Básica



Índice



Prólogo / XIII

Introducción / 1

CAPÍTULO 1

Historia de la geología y de la minería en Cuba / 3

Etapa aborigen / 3

Etapa colonial / 5

Etapa del gobierno de intervención estadounidense / 8

Etapa republicana neocolonial / 9

Etapa del socialismo / 11

CAPÍTULO 2

Sinopsis de la geología de Cuba / 18

Tipos de rocas cubanas / 18

Procedencia de las rocas cubanas / 27

Estructura geológica de Cuba / 30

CAPÍTULO 3

Curiosidades de la geología de Cuba / 34

Mogotes / 34

Terrazas marinas / 40

Peñón del Fraile / 43

Altar de la Virgen / 44

Mineral más antiguo de Cuba / 46

Perezoso cubano gigante / 47
Fósiles más antiguos de Cuba / 49

CAPÍTULO 4

Tectónica de placas / 50
Límites de la placa del Caribe / 57

CAPÍTULO 5

Formación del Caribe y de Cuba / 59
Jurásico / 59
Primeros pobladores del Caribe / 62
Cretácico / 64
Reestructuración de las biotas del Caribe / 66
Paleoceno-Eoceno / 66
Oligoceno a reciente / 67
Delimitación geográfica de Cuba / 72
Resumen de la historia geológica del Caribe / 74

CAPÍTULO 6

Origen de la biota cubana actual / 76

CAPÍTULO 7

Riesgos naturales de origen geológico / 82
Eventos geológicos que implican amenazas / 82
Erupciones volcánicas / 84
Terremotos / 84
Sismicidad de Cuba / 87
Tsunamis / 90
Transformaciones costeras / 92
Protección de la plataforma insular y de las costas / 94
Intemperismo / 94
Derrumbes y deslizamientos / 97
Desplomes de cavernas / 99
Contaminación del medio cárstico / 101
Concentraciones naturales de sustancias tóxicas / 101
Vulnerabilidad, prevención y mitigación / 103

CAPÍTULO 8

Choque de la Tierra con un bólido cósmico / 104
Descubrimiento / 104
Consecuencias del impacto / 105
Cuba y el impacto / 106

CAPÍTULO 9

Recursos de agua potable y de aguas minerales / 109

Ciclo hidrológico / 110

Aguas subterráneas / 110

Circulación de las aguas subterráneas / 112

Intrusión salina / 116

Aguas minerales / 117

Composición química de las aguas / 117

Agua y hombre / 118

CAPÍTULO 10

Recursos de minerales sólidos / 119

Conceptos básicos / 119

Minerales sólidos de Cuba / 120

Tipos de yacimientos minerales / 121

Algunos yacimientos minerales / 124

CAPÍTULO 11

Recursos de petróleo y de gas natural / 130

Breve historia del petróleo / 130

Composición y origen del petróleo / 131

Geología del petróleo / 132

Sistemas petroleros / 133

Métodos geólogo-geofísicos de exploración / 135

Yacimientos de petróleo de Cuba / 137

CAPÍTULO 12

Rehabilitación de las áreas minadas / 139

Ley de Minas / 139

Legislación ambiental cubana. Su relación con los recursos mineros / 140

CAPÍTULO 13

Patrimonio geólogo-minero / 144

Mina Matahambre / 144

Mina El Cobre / 145

CAPÍTULO 14

Geociencias de cara al futuro / 147

Bibliografía y lecturas recomendadas / 149

Sitios de internet / 150



Agradecimientos



Los autores desean patentar su agradecimiento más sincero a todos aquellos que colaboraron en la creación de esta obra, y sin cuyos aportes la documentación que presentamos aquí habría resultado incompleta.

En especial, a: Ing. Idoris Alfonso Santiesteban (Estudios Marinos, GEOCUBA), MCs. Enrique Arango Arias (Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, CITMA), Ing. Félix Bravo Patterson (Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS), Geólogo Ernesto Flores Valdés (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos), Dr. Rolando García (Centro de Investigaciones del Petróleo), Ing. Miguel García Saborit (Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS), Ing. Esther González Rodríguez (Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS), Ing. Virginia González Acosta (Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS), Ing. Rafael Lavandero Illera (Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS), Ing. Jesús Martínez Salcedo (Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS), Dr. Reinaldo Rojas Consuegra (Museo Nacional de Historia Natural, CITMA), Dra. Yamirka Rojas Agramonte (Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa,

MES), Tecn. Domingo González Castellanos (Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS), Ing. Jorge Luis Torres Zafra (Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS).

Gran parte de las ilustraciones y las fotografías que apoyan esta obra fueron tomadas, elaboradas o adaptadas por Manuel A. Iturralde Vinent. Se agradece a los colegas que colaboraron con sus imágenes al enriquecimiento de este libro.

Esta edición ha sido parcialmente financiada con la ayuda de donaciones aportadas por la Sociedad Cubana de Geología, el Proyecto Ciudadanía Ambiental Global, el Grupo Empresarial Geominsal y la Unión CubaPetróleo.



Prólogo



Las Naciones Unidas declararon el 2008, “Año Internacional de las Ciencias de la Tierra para la Sociedad”, iniciativa enmarcada en un trienio, que concluye en el 2009, lo que muestra, que esta rama del conocimiento, ha dejado de ser una especialidad de interés exclusivo de los científicos, para convertirse en una parte relevante de la cultura de la naturaleza que todos debemos asumir.

El estudio de las Geociencias, constituye una herramienta singular para planear la explotación racional de los recursos naturales, comprender como el ser humano influye en la naturaleza con sus acciones, a la vez que entender y en parte prevenir, los fenómenos naturales, que han amenazado su vida, entre éstos, los riesgos sísmicos, meteorológicos y volcánicos. Estas estudian desde las variaciones del clima en el pasado, hasta el origen y desarrollo de las placas tectónicas, considerada por muchos como la gran teoría unificadora, por explicar de una manera coherente y elegante una gran cantidad de observaciones geológicas y geofísicas y mostrar cómo se formaron y transformaron los océanos, los continentes, las islas, los valles y las montañas.

También abordan los peligros potenciales, que representan para el planeta los objetos celestes, que ya han dejado su huella, en el Cráter Meteoro de Arizona; en los mil kilómetros cuadrados, que fueron arrasados hace 100 años en Tunguska, un lugar de la taigá siberiana o el enorme Cráter de Chicxulub, en lo que hoy se conoce como Península de Yucatán, motivado por el impacto de un cuerpo extraterrestre de más de diez kilómetros de diámetro hace 65 millones de años. Hoy día es aceptada la tesis, de ser el causante principal de la desaparición de los dinosaurios.

El tema central escogido por los autores de la obra, “Geología de Cuba para Todos” dentro de la amplia gama de asuntos que trata y como forma de introducirnos en la interesante aventura del saber humano, ofrece una mirada profunda y necesaria a nuestro entorno, a la gran casa donde vivimos y donde vivirán nuestros descendientes. De una manera amena y bien ilustrada, nos dejan ver, que la vida moderna y el desarrollo sostenible de la humanidad, están estrechamente ligados al conocimiento que tengamos del medio en que vivimos, ya que los geólogos estudian la Tierra, no sólo en

el contexto del sistema solar, o en sus distintas facetas actuales, sino como una historia de innumerables acontecimientos, que registrados en las rocas atesoran unos 4500 millones de años de evolución del sistema terrestre integrado por la atmósfera, la biosfera, la hidrosfera, y la litosfera.

En la actualidad la especie humana se ha convertido, cada vez más, en un poderoso agente transformador de la naturaleza. Su impacto, ha provocado modificaciones en la composición de la atmósfera y los océanos, viene contaminando las aguas terrestres, y transforma el relieve, todo en detrimento de su propia supervivencia. Hoy se empiezan a percibir las consecuencias del acomodo de los sistemas naturales a las alteraciones provocadas por éste. El clima cambia en plazos breves de tiempo, como nunca antes en la historia de la Tierra; el nivel del mar se está elevando, con una dinámica no conocida en el pasado geológico.

Con el crecimiento de la población mundial cada día se necesita más materias primas minerales, más fuentes de energía para sostener la vida moderna, pero sobre todo esto, hay que aprender, cada vez más, cómo vivir y sobrevivir en un medio dinámico como es nuestro planeta. La erupción de volcanes, la ocurrencia de terremotos y tsunamis, los derrumbes y deslizamientos, las transformaciones de las

costas, y muchos otros fenómenos de naturaleza geológica pueden provocar verdaderas catástrofes.

Estos temas, tratados de una manera sencilla en la obra, muestran un camino en el cual profundizar acerca del funcionamiento de los procesos en la naturaleza y cómo reducir los efectos de los desastres naturales, que provocan pérdidas de vida, afectaciones a la economía y al medio ambiente. Su editor científico, Manuel A. Iturralde-Vinent, Doctor en Ciencias Geológicas y reconocido investigador, que ha dirigido proyectos internacionales en la materia con la UNESCO, la IUGS, la NGS y otras organizaciones, posee una larga trayectoria profesional en el Museo Nacional de Historia Natural y es titular de la Academia de Ciencias de su país. Es además un hábil comunicador de las interioridades y adelantos de esta apasionante rama científica.

Los temas que aborda el libro, se han constituido en parte de la cultura necesaria, para el conocimiento del hombre actual, especialmente en Cuba, donde a lo largo de cinco décadas, se han creado todas las condiciones, para el desarrollo de la inteligencia, la cultura y la plenitud intelectual de sus ciudadanos. Estoy seguro, que el lector disfrutará del mismo y que despertará su curiosidad e interés por seguir profundizando en el fascinante mundo de las ciencias de la naturaleza.

Fidel Castro Díaz-Balart
La Habana, enero del 2009



Introducción



La presente obra está destinada al pueblo cubano, no es un texto especializado ni un curso introductorio. Más bien, pretende contribuir a desarrollar una cultura de la naturaleza, que incorpore la parte sólida de nuestra tierra. Tampoco es una lectura sencilla, se requiere, al menos, haber completado la enseñanza media para poder disfrutar de todos los conocimientos que sus páginas pueden proveer.

Una versión inicial de este libro se publicó como texto explicativo del curso de *Universidad Para Todos*, que se televisó en veinticinco clases durante 2007 y 2008. Este curso, titulado *Naturaleza geológica de Cuba*, tuvo una buena acogida, hecho que nos motivó a preparar esta nueva versión de aquel texto explicativo, donde se contemplan los temas del curso y se incorporan algunos asuntos complementarios, para lograr un compendio de conocimientos básicos y aplicados sobre geología de Cuba. En su confección, ha participado un grupo de geólogos y geofísicos cubanos, que trabajamos en distintas ramas de las geociencias y sus aplicaciones a la sociedad.

En estas páginas, el lector encontrará información actualizada sobre una variedad de temáticas, que

pudieran llamar su atención o curiosidad, quizás le inciten a profundizar sus conocimientos y a apreciar de un modo distinto, y más abarcador el mundo, en especial, la hermosa tierra en que vivimos. Para algunos este libro puede convertirse en obra de consulta referente a las relaciones que pueden establecerse entre la geología, la economía nacional y el mejoramiento de la calidad de vida.

Es importante, como hecho cultural, que cada cubano conozca, al menos en términos generales, el origen geológico de su país, el origen del relieve que lo caracteriza y las bases paleontológicas y paleogeográficas de la flora y fauna propias de Cuba. Este libro espera, asimismo, fomentar una ética sobre la utilización del uso sostenible de la naturaleza cubana, sus recursos no renovables y, muy en especial, de la protección de la sociedad contra los eventos naturales de origen geológico que generan desastres difíciles de pronosticar, a no ser a largo plazo y con gran ambigüedad.

Este conocimiento, esta cultura, permitirán apreciar mejor el valor de los recursos naturales del territorio, la importancia de hacer un uso racional del

agua, los minerales y materiales de construcción, y proteger tanto los animales y las plantas como el relieve porque son patrimonio nacional.

La Geología es una ciencia natural junto con la Astronomía, la Geografía, la Geofísica, y la Biología, muy relacionada con el conocimiento del medio ambiente en que vivimos. Esta ciencia se auxilia, además, de la Matemática, la Física y la Química. El conocimiento de la Geología es una necesidad para el buen desempeño económico y sociocultural de la sociedad. En este sentido, esta obra se inserta en el conjunto de las actividades promovidas por la iniciativa Planeta Tierra, de la UNESCO, y la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS),

que permitieron que el año 2008 fuera declarado —por aclamación— por la Asamblea General de las Naciones Unidas, como “Año Internacional de las Ciencias de la Tierra para la Sociedad”, en el marco del trienio 2007-2009, dedicado a desarrollar esta iniciativa.

Al colocar en sus manos esta obra, el colectivo de autores, a nombre de los geocientíficos cubanos, cumple con la hermosa misión de contribuir con la educación del pueblo en aquellos aspectos de la naturaleza geológica de Cuba que son de importancia e interés al ciudadano común, utilizando un lenguaje sencillo y directo, que le permita ahondar en sus conocimientos sobre esta hermosa tierra.

Historia de la geología y de la minería en Cuba

*Dr. Carlos Pérez Pérez
Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent*

Aunque la *geología* como ciencia natural es relativamente joven, de hecho, como “conocimiento necesario” su surgimiento se remonta al advenimiento mismo del ser humano como especie y su historia está directamente relacionada con la evolución de la sociedad, por lo que no puede comprenderse adecuadamente si no es en estrecha relación con el acontecer histórico nacional e internacional. Por eso se presenta esta síntesis histórica a tenor con las diferentes etapas por las que ha transitado el conocimiento geólogo-minero, desde la colonización humana del territorio cubano por las comunidades aborígenes hasta el presente.

En los párrafos siguientes se ofrece una breve caracterización del acontecer geólogo-minero en Cuba, de las etapas aborígen, colonial, del gobierno de intervención estadounidense, republicana neocolonial y socialista. Es fundamental que todo profesional de las geociencias conozca la historia de su especialidad, pero este capítulo está dirigido a todo el que esté interesado en conocer en qué medida la geología y la minería han marcado el devenir de la sociedad. En las páginas sucesivas,

esperamos provocar en el lector el interés por profundizar en estos temas, aprovechando la bibliografía existente.

Etapa aborígen

Es conocido que el territorio cubano fue poblado por varias culturas procedentes de los continentes cercanos, tanto del norte como del sur, pero fueron los aruacos suramericanos quienes se asentaron y crearon comunidades estables. De acuerdo con su desarrollo cultural, los *aborígenes* utilizaron una serie de materias primas minerales, que debieron localizar y seleccionar, lo que implica un conocimiento rudimentario de la prospección geológica. El hecho mismo de escoger el barro adecuado para construir sus vasijas de cerámica, (Fig. 1.1).

Ellos también explotaron la piedra, que tallaron hasta convertirla en objetos de uso cotidiano o de carácter místico. Tales son la caliza, la arenisca, la diorita, la serpentinita, el pedernal y la concha (Fig. 1.2). El principal metal que explotaron fue el oro y lo utilizaron para confeccionar diferentes tipos de



Fig. 1.1: Grupo de taínos aplicando distintas técnicas, que incluyen el uso del barro y la piedra. (Cortesía de José Martínez).



Fig. 1.2: Idolillo taíno elaborado en gabro. Altura: 53 mm. Colección del Museo Montané, La Habana (Cortesía de Daniel Torres Etayo).

adornos. El oro lo obtenían mediante el lavado de las arenas de algunos ríos. Desde la llegada de los españoles, comenzaron a elaborar objetos aprovechando el cobre y el hierro.

El desarrollo natural de aquellas culturas primitivas fue brutalmente interrumpido por el colonizador español, que impuso sus leyes y conceptos a un pueblo que se negó a asimilarlas, pareciendo casi por completo.

Etapa colonial

Desde el mismo inicio de la *colonización* española en 1510, el Rey de España se preocupaba por conocer las riquezas de la isla, y para ello encargó a Diego Velásquez la exploración de estos recursos, tarea que fue llevada a cabo por Pánfilo de Narváez en 1511. Estos constituyeron los primeros trabajos de prospección geológica realizados por los españoles, que pronto abandonaron su interés por los minerales, cuando descubrieron la pobreza en oro del archipiélago cubano y se percataron, en cambio, de la riqueza de otros territorios americanos. No obstante, se llevó a cabo alguna producción de oro y de otros metales extraídos del subsuelo cubano, a medida que se iban descubriendo. La primera minería en practicarse en Cuba fue la de los materiales de construcción y el oro, ya a fines del siglo xv había un control del gobierno sobre la extracción de este metal.

Las primeras remesas de oro enviadas al Rey de España en el año 1515, tuvieron un valor de 12 437 pesos. Posteriormente y hasta 1538, se enviaron dos millones de pesos más. En ambos casos, estas cifras representan un quinto del volumen extraído de los lavaderos de los ríos en Bayamo, Jobabo y Guáimaro, el cual se enviaba al Rey de España de modo que la extracción total fue mucho mayor.

Ya en 1530 se conocía la presencia de cobre en Cuba oriental, que comenzó a explotarse de manera muy rudimentaria en 1540, en el yacimiento que después devendría en la mina El Cobre (Fig. 1.3).

De esta misma forma se extrajo cobre de Bayamo en 1580, de Bacuranao en 1589, de Bayatabo en 1830 y de la Mina Unión (Mantua) en 1840. El hierro se localizó en la Sierra Maestra en Daiquirí y Firmeza, en la zona de la Gran Piedra y comenzó a explotarse desde 1884. También se localizó en La Caldera, Cienfuegos. El manganeso se descubrió en 1882, en varias localidades de la Sierra Maestra y se explotó enseguida en la Mina Boston. El asfalto fue descubierto desde las primeras visitas de las carabelas españolas a la isla de Cuba, pues se empleaba para calafatear aquellas naves. El petróleo en Cuba se descubre en 1873.

En general la producción de metales fue muy baja durante la colonia: cobre 340 000 t, hierro 3 658 508 t, manganeso 77 228 t, y oro tres millones de pesos. Aunque se utilizó extensamente la piedra en la construcción de caminos, villas y fortalezas, no hay noticias de los volúmenes de extracción (Fig. 1.4). La minería de la época colonial estuvo amparada por la Ley de Minas, la cual entró en vigor el 6 de junio de 1859, en un momento en que la extracción de minerales alcanzaba cierto interés.

El verdadero nacimiento de los estudios geológicos no ocurrió hasta el siglo xix, a partir de la visita a Cuba del sabio alemán Alejandro de Humboldt quien realizó distintas investigaciones y es considerado el “padre de la geología cubana”, quien realizó distintas investigaciones. Sus descripciones de la geología son bastante generales, pues reconoció tres grupos de rocas de las llamadas eras Secundaria y Terciaria, terminología ya en desuso. Otras contribuciones al conocimiento de nuestra geología fueron publicadas por Ramón de la Sagra, Policarpo Cía, Miguel Rodríguez Ferrer, y una pléyade de paleontólogos europeos de la talla de Joseph Cuvier, Alcides d’Orbigny y Alexander Agassiz. Estos últimos descubrieron un número importante de nuevas especies de organismos extintos, basados en el estudio de sus restos fósiles colectados en la isla.



Fig. 1.3: Aspecto actual de la cantera de la mina El Cobre, en Santiago de Cuba. (Cortesía de Wilson Ramírez).

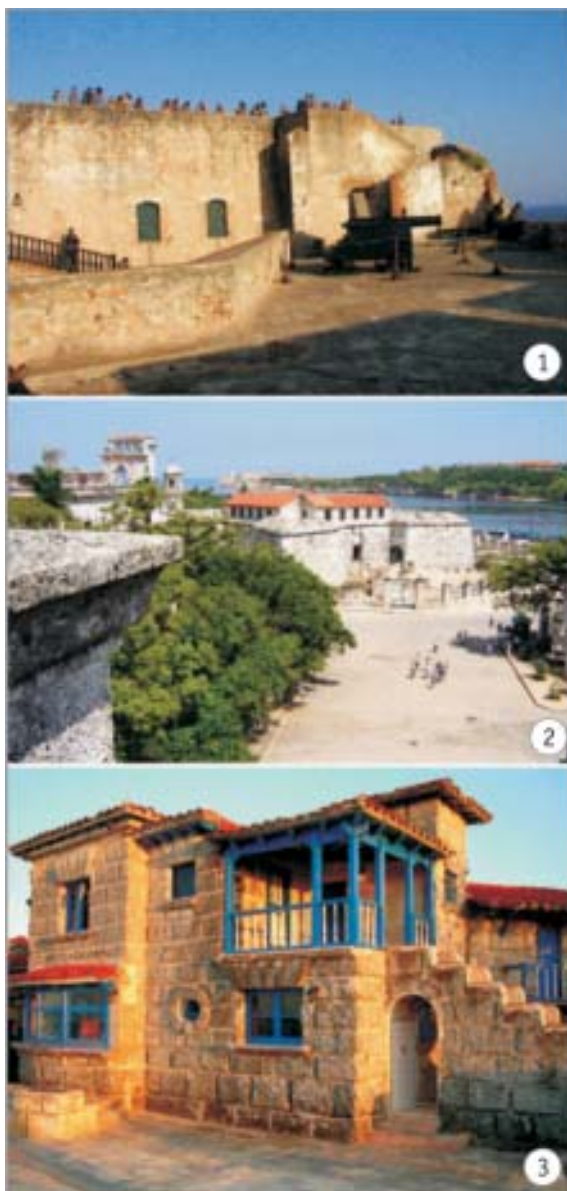


Fig. 1.4: Construcciones elaboradas a base de piedra: 1. Morro de Santiago de Cuba, construido con mortero de cantos rodados y fragmentos de roca. 2. Castillo de la Fuerza, en La Habana, construido a base de bloques de caliza. 3. Casa en Varadero, construida con bloques de calcarenita (Cortesía de Anthony Gorody).

Uno de los resultados científicos más importantes de este período fue el primer *Croquis geológico de Cuba* elaborado por los ingenieros Manuel Fernández de Castro y Pedro Saltaraín y Legarra, publicado en Madrid en 1869 (Fig. 1.5). Poco después, en el año 1881, Manuel Fernández de Castro presentó una extensa exposición sobre la constitución geológica de Cuba al Congreso Internacional Americanista celebrado en Madrid. Este trabajo describe la presencia de serpentinitas, diabasas y andesitas, así como de rocas sedimentarias del Mesozoico y el Cenozoico, fundamenta su estudio con listas de fósiles característicos. También describe los macizos metamórficos y de rocas plutónicas. En aquella ocasión, Fernández de Castro defendió la tesis sobre la unión de Cuba con el continente durante el Pleistoceno, para explicar el origen de los animales cubanos. Este tema se encontraba en el centro del debate científico del momento e incluso, hoy día, forma parte de los problemas en discusión de las comunidades científicas nacionales e internacionales. También coincidiendo con esta época, el sabio cubano don Felipe Poey y Aloy (Fig. 1.6) publicó *Mineralogía de Cuba*, quizás, la primera obra de este tipo elaborada por un criollo.

En el período comprendido entre 1853 y 1898 se realizaron diversos estudios con vistas al aprovechamiento de las aguas subterráneas para el abasto a poblaciones, siendo el más importante el ejecutado en 1853 por el ingeniero Jesús F. de Albear y Lara, consistente en el proyecto para la construcción del Acueducto de La Habana, además de otros para las ciudades de Matanzas (1872), Cárdenas (1873), Sancti Spíritus (1885), Rodas (1889), Camagüey y San Antonio de los Baños (1895), aprovechando principalmente las aguas de manantiales y cavernas.

Es importante destacar que en esta etapa, en mayo de 1861, se fundó en La Habana la Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales, de la cual fueron miembros un grupo de científicos relacionados con las Ciencias de la Tierra, creándose una comisión permanente de Historia Natural, Anato-



Fig. 1.5: Reproducción de la primera representación cartográfica de la constitución geológica de Cuba, elaborada por Manuel Fernández de Castro y Pedro Salterain y Legarra.

mía Comparada, Geología y Paleontología que desde 1867 se convirtió en la comisión de Zoología, Botánica y Geología. En esta comisión trabajaron en temas de interés Francisco de Albear Fernández de Lara, Manuel Fernández de Castro y Suero, Felipe Poey y Aloy, Carlos de la Torre y Huerta (Fig.1.6), Pedro Salterain Legarra, José Seidel Aymerich, Pedro Vardés Ragués, y Justo Egozcue Cía, como miembro corresponsal.

Como bien señala Antonio Calvache, en su libro *Bosquejo histórico del conocimiento de la geología de Cuba*: "...al terminar la dominación de España, después de 383 años de gobierno colonial, no había fundamento bastante para apreciar la importancia y la cuantía de la riqueza minera del subsuelo de Cuba...". Sin embargo, ya existían algunas obras dedicadas a la caracterización de nuestro subsuelo desde el punto de vista geológico y a la descripción de algunos tesoros mineralógicos y paleontológicos.

Etapa del gobierno de intervención estadounidense

Durante la *intervención estadounidense*, el general Leonard Wood, gobernador general de Cuba, hizo

las gestiones para que visitara la isla una comisión del Servicio Geológico de los Estados Unidos de América, con el fin de realizar una valoración de los recursos minerales y energéticos.

Esta tarea se le encargó a los geólogos C.W. Hayes, T. Vaughan y C. Spencer, quienes llevaron a cabo una minuciosa compilación de todos los trabajos previos sobre geología y minería, complementándolos con sus propias investigaciones en el campo y el laboratorio. De aquí resultó el *Informe sobre un reconocimiento geológico de Cuba*, publicado en 1901, durante algunos años este documento constituyó la principal fuente de datos geológicos relativos a nuestro territorio. En este informe se ofrece por vez primera, un esquema de la estructura y la evolución geológicas del país de acuerdo con los conceptos de la época, y se reproduce el *Croquis geológico* de Fernández de Castro y Salterain Legarra. Por entonces, y durante toda la primera mitad del siglo XIX se explicaba el origen de los cinturones plegados a partir de la teoría del geosinclinal, concepción abandonada a principios de la década de los sesenta del siglo XX.

El trabajo de los geólogos mencionados sirvió de base para que muchas compañías estadounidenses se interesaran por la exploración más detallada



Fig. 1.6: Algunos precursores de las investigaciones geológicas en Cuba: 1. Pánfilo de Narváez. 2. Manuel Fernández de Castro. 3. Felipe Poey y Aloy. 4. Carlos de la Torre y Huerta. 5. Jorge Brodermann y Vignier. 6. Pedro J. Bermúdez.

de distintas partes del territorio nacional. Para facilitar la penetración del capital, el gobierno emitió la Orden Militar 145, que eximía de pago a los concesionarios mineros. Esta orden abrió el camino para el acaparamiento de denuncias mineras, sin tener que pagar impuestos, ni la obligación de investigar o explotar el mineral. Gracias a esto, los yacimientos de hierro de la costa norte de Holguín (futuras minas de Níquel y Cobalto), se convirtieron en reservas de las compañías siderúrgicas es-

tadounidenses. Durante esta etapa se extrajeron 60 168 t de manganeso, 1 517 117 t de hierro y 107 t de cobre, que fueron exportadas a los Estados Unidos de América.

Etapa republicana neocolonial

Durante el medio siglo de *gobierno republicano neocolonial* (1902 a 1958) se realizaron diversas investigaciones, y no pocos descubrimientos en materia de geología y minería.

Entre los cubanos que dieron su aporte al engrandecimiento de las ciencias de la tierra en este período, ocupan un lugar destacado Carlos de la Torre y Huerta, por sus trabajos paleontológicos; José Isaac del Corral, por sus investigaciones hidrogeológicas, geológicas, tectónicas y mineras; Jorge Brodermann y Vignier (Fig. 1.6) quien realizó numerosos estudios de geología, paleontología, estructura geológica, recursos minerales y petróleo; Jesús F. de Albear y Franquiz, Mario Sánchez Roig, Pedro J. Bermúdez (Fig. 1.6), y Alfredo de la Torre por sus diversas investigaciones de los fósiles y las rocas de Cuba.

Entre los trabajos más importantes realizados por geólogos y paleontólogos cubanos, se cuentan el *Levantamiento geológico de Cuba*, bajo la dirección de Jorge Brodermann, en el que participaron Pedro J. Bermúdez, Jesús F. de Albear, entre otros, y el *Catastro minero del país*, elaborado por Antonio Calvache Dorado y otros colegas. Como resultado, en esta época se editó el *Mapa geológico de Cuba* a escala 1:1 000 000 en 1946, y fueron publicados muchos artículos científicos en el *Boletín de Minas*, en la *Revista de la Sociedad Cubana de Historia Natural "Felipe Poey"*, y en la *Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros*, entre otras. Es interesante destacar que en 1940 Isaac del Corral publica su obra *El Geosinclinal Cubano*, donde posiblemente ofrece la primera aplicación de la Teoría de la Deriva de los Continentes de Alfred Wegener, para explicar el origen de las faunas cubanas de vertebrados terrestres.

Entre los geólogos extranjeros que trabajaron en Cuba, ocupa un lugar destacado un grupo de holandeses, que bajo la dirección de L. Rutten realizaron su tesis de grado a partir de investigaciones geológicas y paleontológicas de distintas partes del territorio, al final de la década de 1930.

En función de la minería se realizaron investigaciones sobre las riquezas de cobre, manganeso, hierro y cromo por distintos geólogos norteamericanos, cuyos trabajos son importantes contribuciones al conocimiento geológico. Pero las prospecciones más detalladas las realizaron los geólogos contratados por las compañías interesadas en la localización de recursos energéticos.

En este sentido, los estudios comenzaron muy temprano y adquirieron su mayor auge en la segunda mitad de las décadas de 1940 y 1950. De este modo se cubrió una parte importante del territorio con cartografía geológica a escala media, y se logró, en parte, descifrar la composición, la estructura y la evolución geológica de nuestro territorio, cuyos resultados aún tienen vigencia en la actualidad. Las contribuciones más importantes se deben a Paul Truitt, George Pardo, Giovanni Flores, Charles Ducloz, Paul Bronnimann, Robert H. Palmer, Dorothy K. Palmer, Myron T. Kozary, Danilo Rigasi, Charles W. Hatten y Arthur A. Meyerhoff.

La producción minera en esta etapa tuvo sus fluctuaciones. Durante la Primera Guerra Mundial se extrajeron 4 205 000 t de hierro, 8 872 t de cromo, 406 000 t de cobre, más de 1 000 000 t de manganeso, 2 510 t de asfalto, 36 480 barriles de petróleo y 300 000 galones de nafta. Entre esta y la Segunda Guerra Mundial (1919 a 1939) se continuó la explotación de hierro (6 970 000 t), cromo (649 242 t), cobre (971 355 t), manganeso (más de 1 000 000 t), asfalto (120 000 t), petróleo (160 000 barriles) y nafta (8 000 000 de galones), se minaron y estudiaron nuevos yacimientos de turba, arcillas refractarias y caolines, asbestos, barita, caliza, marga, magnesita, mármoles, sílice, arena silíceas, oro y plata.

Durante la Segunda Guerra Mundial se incrementó la extracción minera en Cuba, pues el gobierno cubano puso a disposición de los Estados Unidos de América toda la riqueza de nuestro subsuelo. Durante esos años el país suministró a la industria de guerra estadounidense 100 % de sus necesidades de asfalto, 90 % del cromo, 25 % de manganeso, 5 % del hierro y 2 % del cobre. Una evaluación de la situación minera en Cuba, en el año 1945, cuando se libraban los últimos combates de la Segunda Guerra Mundial, está contenido en el *Informe del censo del año 1943*, elaborado por el ingeniero Enrique Callado, jefe del Negociado de Minas. Su lectura, sin comentarios, demuestra la grave dependencia de la minería cubana al capital e intereses estadounidenses.

...Cuba ocupa el 4^{to} lugar entre los países poseedores de hierro, pero queda relegado al lugar 25^{vo} (al 20^{vo} hoy), por su explotación. Esto no obstante obtenerse en nuestras minas de Mayarí un hierro que resulta inoxidable en primera fundición, por lo que se le conoce en el mercado mundial como “acero de Mayarí”. Una sola compañía controla y retiene como reserva tres millones de toneladas de hierro “limonita”, en las Sierras de Moa. En tiempos normales esa Compañía mueve su explotación un mes al año, más bien para que su maquinaria no se deteriore.

El cromo se prodiga en nuestra tierra, principalmente en Oriente, pero se estimaba que no tenía más aplicación que en productos refractarios, no en la siderurgia. Hoy merece una especial mención porque los yacimientos descubiertos y puestos en explotación intensiva, cuando la necesidad apretó, producen cromo en rendimiento comercial y de aplicación metalúrgica excelente, tan excelente que ocupamos el primer lugar entre los abastecedores de E.U.A., lo que hace abrigar fundadas esperanzas en una explotación permanente aún después que la guerra termine. Se calcula una existencia de seis millones de toneladas.

Nuestro manganeso es de baja ley, y abatido por nuestros escasos e impropios medios de transportación y por aranceles americanos preferentes para el de otros países, se mantenía improductivo en tiempos normales. Ahora puede ser explotado porque, como metal de los denominados de guerra, ha alcanzado un valor que puede absorber todos los excesos de costo, pero fundamentalmente por constituir una fuente de aprovisionamiento muy cerca de los Estados Unidos de Norteamérica. Se estima una existencia de veinticinco millones de toneladas. El cobre resulta de los más beneficiosos, por su explotación más regular, pero se reduce y funde en el extranjero, como todos nuestros minerales y quedamos privados del mayor beneficio que podría rendirnos su metalurgia.

En esa época se logró establecer la tecnología para separar el níquel de la laterita y se montó una planta de beneficio en Lengua de Pájaro, pequeña península que se adentra en la Bahía de Levisa. Esta industria, a un costo de treinta millones de pesos, era capaz de producir dieciocho mil toneladas de níquel al año, cuyo valor aproximado era de diez millones de pesos, de modo que, muy pronto, se recuperó la inversión.

Después de la Segunda Guerra Mundial, y hasta 1955, las exportaciones de mineral se concentraron en el níquel (7 318 251 t), el hierro (541 354 t), el cromo (1 138 482 t), el manganeso (1 783 563 t) y el cobre (181 776 t). Estas cifras muestran el bajo crecimiento de la minería extractiva en estos años, vinculado a los intereses de los Estados Unidos de América de posguerra, que era el principal importador de estas riquezas. El Estado cubano obtuvo un porcentaje muy bajo de las ganancias porque a pesar de existir una ley minera, gracias a los esfuerzos de José Isaac del Corral, Antonio Calvache Dorado, Roque Allende, Pablo Ortega y Ross, Eduardo I. Montoulieu, entre otros, esta no se aplicaba consecuentemente.

Durante este período se realizaron la modernización y la puesta en marcha de acueductos y sistemas de riego. Se ejecutaron estudios hidrogeológicos para el abasto a industrias (centrales azucareras) y poblaciones, donde la Comisión de Fomento Nacional desempeñó un papel importante. En esta etapa, se realizaron estudios del acueducto de Guantánamo (en la caverna del Campanario, 1902), en las cuencas de Aguada del Cura y Sur, que aún abastecen la ciudad de La Habana (1955), y los acueductos de las ciudades de Remedios y Encrucijada (1914), entre otros menores.

Para obtener una visión general sobre la época que se está caracterizando, basta con traer a colación un párrafo del informe elaborado por la *Misión Truslov*, enviada a Cuba por el gobierno de los Estados Unidos de América. A pesar de reconocer algunas verdades sobre la actuación del capital estadounidense, en este texto queda manifiesto el desprecio hacia los trabajos ejecutados por los geólogos y mineros cubanos, que en aquel período habían realizado notables aportes al mejor conocimiento de nuestra geología. El escrito reza así:

La historia pone de manifiesto que casi todos los trabajos de explotación, levantamiento de mapas geológicos y desarrollo de nuevos recursos minerales cubanos dignos de mención, han sido emprendidos por el Gobierno de los Estados Unidos o por compañías mineras norteamericanas. Desde luego que este esporádico interés no ha sido impulsado por el desprendimiento, ni impulsado por el deseo de ayudar a la economía cubana. Ha sido el resultado de la escasez producida por la guerra—o por el temor a ella—, o de razones normales de comercio.

Etapa del socialismo

Desde la instauración del *gobierno revolucionario* en 1959, el acontecer geológico y minero del país sufre un cambio radical, pues el control y la ejecu-

ción de la prospección geológica y la extracción minera pasan a manos del Estado.

En 1959 solo existía un pequeño Departamento de Geología, que formaba parte de la Comisión de Fomento Nacional, donde se realizaban estudios geológicos en su mayoría relacionados con la búsqueda de petróleo. Allí trabajaba un grupo de ingenieros civiles y geólogos cubanos, graduados en universidades estadounidenses, que contaba con la asesoría de algunos especialistas extranjeros. El gobierno revolucionario organizó rápidamente los estudios geológicos en el país, que comenzaron con la ejecución de trabajos de búsqueda y exploración de yacimientos de hierro, cobre y polimetálicos poco conocidos en el país pero con gran valor en el mercado internacional de aquella época. También comenzaron los estudios de prospección petrolera.

Debido a la agresiva política estadounidense contra Cuba, junto con el incumplimiento por las empresas y compañías estadounidenses de lo establecido por la Ley Minera vigente, el gobierno revolucionario promulgó a finales de 1959 un decreto que determinó la intervención y nacionalización de los archivos científicos de las mencionadas entidades. Esta medida permitió al Estado cubano reproducir toda la información de los resultados de numerosos estudios realizados en el país, incluyendo mapas, perfiles, datos e informes geólogo-geofísicos, antes reservados para uso de la empresa privada.

En 1960 se crea el Instituto Cubano del Petróleo (ICP), con la colaboración de algunos geólogos argentinos, mexicanos, peruanos y otros procedentes de la antigua comunidad socialista. Con estas fuerzas, se iniciaron los estudios geológicos del país, en especial, los trabajos de prospección petrolera a partir de la información básica obtenida mediante la nacionalización de las empresas extranjeras.

En 1961 fue nombrado como ministro de Industrias el comandante Ernesto “Che” Guevara, quien de inmediato, tomó diversas medidas para promover el desarrollo de la geología en el país entre es-

tas se destaca la selección de numerosos jóvenes para formarse como geólogos en el extranjero fundamentalmente en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Además, se dictaron las disposiciones necesarias para unificar, en una sola institución, las escasas fuerzas científico-técnicas cubanas existentes. Con esa finalidad, el Che dictó un decreto el 24 de octubre de 1961, donde se fundaba el Servicio Geológico Nacional, enmarcado en el Instituto Cubano de Recursos Minerales (ICRM). Años más tarde esa fecha se adoptó por el Sindicato Nacional de Trabajadores, para celebrar el Día del Geólogo y demás trabajadores de esta rama.

Mientras estos acontecimientos ocurrían, como parte de la Reforma Universitaria se fundó la Escuela de Geología en la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Habana. Su creación fue asesorada por geólogos checoslovacos y su claustro de profesores se nutrió con algunos especialistas cubanos y extranjeros que trabajaban en el ICRM. Poco después, se instituiría la Escuela de Minas de la Universidad de Oriente.

La orientación del comandante Guevara era que “cada metro cuadrado de nuestro territorio debía ser explorado y estudiado cuidadosamente”. El personal más calificado del ICRM, tanto cubano como extranjero, se dio a la tarea de revisar, evaluar y generalizar la información existente, con el fin de preparar un libro y un mapa geológico de Cuba a escala 1:1 000 000, para facilitar los trabajos de búsqueda y exploración petrolera y minera del país. Este propósito se logró y se publicó el libro *Geología de Cuba*, de un colectivo de autores dirigido por Gustavo Furrázola Bermúdez y Constantino Judoley, así como *Mapa Geológico* a escala 1:1 000 000 (1962-1963) y el *Mapa de Yacimientos Minerales de Cuba* a escala 1:500 000. Estos resultados fueron presentados al XXII Congreso Geológico Internacional en Nueva Delhi, en 1964. En el prólogo del libro, que constituyó el primer compendio integral sobre esta temática realizado en el país, el comandante Ernesto Guevara señaló:

“La importancia de este libro es, precisamente, la demostración de la magnitud del apoyo que pueden prestarse entre sí los países del campo socialista, en que Cuba, país atrasado y sin ningún desarrollo en estas técnicas, pueda a los cinco años de la Revolución presentar una Geología de alto nivel científico para uso de todos sus futuros profesionales.”

En 1962, también por gestiones del Che, se fundó la *Revista Tecnológica*, “para dar a conocer los logros principales de los técnicos y especialistas cubanos y extranjeros”.

En 1963 todos los archivos se reúnen en el Fondo Geológico Nacional, dentro del ICRM, y de esta manera, la información geológica y minera, antes dispersa, queda ordenada y clasificada a disposición de los geólogos cubanos. En este propio año, se creó el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, dirigido por el comandante Faustino Pérez, para atender las crecientes necesidades de manejo de las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Poco después el país contaba, por vez primera, con el *Mapa Hidrogeológico de Cuba* a escala 1: 1 000 000 y su memoria explicativa.

Paralelamente, la naciente Academia de Ciencias de Cuba creó en 1964, un Departamento de Geología, al que se incorporaron algunos especialistas cubanos que no laboraban en el ICRM y alumnos aventajados de los últimos años de la Escuela de Geología. En 1965 se fundó el Instituto de Geología como entidad independiente y su primer aporte al conocimiento geológico del país fue el *Mapa Tectónico de Cuba* a escala 1:1 250 000, que se editó con la colaboración de la Academia de Ciencias de la URSS. Desde 1974 el Instituto de Geología pasó a denominarse Instituto de Geología y Paleontología.

En 1968 se efectuó, en La Habana, una reunión con representantes de las academias de ciencias de la URSS, Polonia, Rumania, Bulgaria y Hungría, con el fin de ejecutar, de conjunto, la cartografía geológica básica de nuestro territorio. Los traba-

jos de campo comenzaron en 1969 y culminaron exitosamente en 1988 con la publicación de *El Mapa Geológico de la República de Cuba* a escala 1:250 000 y *El Mapa Tectónico de la República de Cuba* a escala 1:500 000 con sus respectivas memorias explicativas, lo que constituyó un importantísimo paso de avance en el conocimiento geológico del territorio.

Después de terminada la cartografía básica de Cuba, se seleccionaron algunas regiones donde era conveniente continuar explorando, pues existían importantes indicios de la presencia de distintos tipos de minerales sólidos, fangos y aguas minero-medicinales y combustibles. Para ello, se establecieron acuerdos de cooperación en el marco del CAME (Consejo de Ayuda Mutua Económica) y se distribuyeron las áreas de interés entre Cuba (Polígonos CAME, de Pinar del Río a La Habana), Cuba-Checoslovaquia (Polígonos CAME, en la región villareña), Cuba-República Democrática Alemana (Polígonos CAME, en Ciego, Camagüey y Las Tunas), y Cuba-Hungría (Polígonos CAME, en Cuba oriental). Como parte de estos trabajos se realizaron en las décadas de 1980 y de 1990 mapas geológicos a escala 1:50 000 y más detallados, acompañados de levantamientos geoquímicos (de suelos, rocas y agua), mineralógicos (de arenas fluviales y suelos), gravimétricos terrestre, aeromagnéticos y gamma espectrométricos aéreo y terrestre, así como un amplio conjunto de trincheras, perforaciones de estudio hasta 50 m de profundidad y de prospección hasta la profundidad de 500 m. Al concluir esta etapa de trabajo, a mediados de la década de 1990, el territorio cubano estaba cartografiado en gran detalle y se abrían amplias perspectivas para la exploración ulterior y la explotación de algunos recursos.

Desde la década de 1960, muchos conocimientos nuevos fueron publicados en forma de artículos o monografías, tanto en Cuba como en el extranjero. Algunas de las principales publicaciones son *Hidrogeología de Cuba*, *Las Formaciones Geoló-*

*gicas de Cuba, Geología y Yacimientos Minerales de Cuba, Estratigrafía y Fauna del Jurásico de Cuba, Geología de los Complejos Metamórficos de Cuba, Cortezas de Intemperismo Meníferas del Trópico Húmedo, El Antropógeno de Cuba, Litología, Estratigrafía, Tectónica y Metamorfismo del Macizo del Escambray, Rocas Ornamentales de Cuba, Geología del Área del Caribe y de la Costa del Golfo de México, Paleontología del Banco carbonatado de la Sierra de Cubitas, Contribución a la Geología de Cuba Oriental, Contribución a la Geología de las Provincias de La Habana y de Ciudad de La Habana, Contribución a la Geología de la Provincia de Pinar del Río, Naturaleza Geológica de Cuba, Principios de Prospección de Yacimientos de Minerales Sólidos, Manual del Ingeniero-geólogo Hidrotécnico, Estudio Ingeniero-Geológico del Carso Cubano, entre otros. Además, aparecieron muchos artículos científicos en publicaciones seriadas cubanas, como *Revista Tecnológica*, *Revista La Minería en Cuba*, *Revista Minería y Geología*, *Reportes de Investigación* de la Academia de Ciencias de Cuba, *Serie Geológica* del Centro de Investigaciones Geológicas, *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio* de la Academia de Ciencias de Cuba, *Revista Voluntad Hidráulica*, entre otras.*

En la segunda mitad de la década de 1980 un colectivo de investigadores principalmente del Centro de Investigaciones Geológicas del MINBAS, asesorado por geólogos del antiguo campo socialista, publicaron el *Mapa Geológico de la República de Cuba* a escala 1: 500 000 y los mapas de *Yacimientos Minerales Metálicos*, y de *Aguas Minerales, No Metálicos y Combustibles de la República de Cuba*, ambos a escala 1: 500 000.

En el período de 1990 a 2005 se han editado importantes títulos en Cuba y en el extranjero, que han aportado valiosos datos al conocimiento geológico del país. Entre estos, se destacan: *Contribución a la Hidrogeología y al Medio Ambiente en Cuba, Rocas Bituminosas de Cuba, Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba,*

Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba, Estudios sobre Geología de Cuba, Caribbean Plate Tectonics. Además, se han editado obras en formato electrónico (CD-ROM), tales como *Estudios sobre los Arcos Volcánicos de Cuba, Mapa de Rocas y Minerales Industriales de Cuba* a escala 1:1 000 000; *SIGEOL: Diseño del Sistema de Información Geológica de Cuba, Origen y Evolución del Caribe y sus Biotas Marinas y Terrestres.*

Según el *Atlas Nacional de Cuba* publicado en 1979, el estado general de la minería en el año 1975 se caracterizó del modo siguiente: minerales 83 000 000 de pesos, materiales de construcción 362 000 000 de pesos, petróleo y sus derivados 425 000 000 de pesos. Estas cifras representan, respectivamente, 1,4 %, 6 % y 7 % del producto industrial de ese año. Se extrajeron minerales de níquel-cobalto-hierro, cromo, cobre, oro, pirita, magnesita, feldespato, caolín, yeso, mármol y arena sílice. También se explotaron numerosas canteras para la producción de piedra triturada en un volumen aproximado de 8 919 000 m³, en correspondencia con el auge de la construcción civil.

Gracias a los trabajos de prospección geológica, en ese año estaban listos para su explotación yacimientos de petróleo, turba, laterita ferroniquelífera, cromo refractario, cromo metalúrgico, cobre, plomo-cinc-cobre, manganeso, hierro magnetita-hematita, hierro limonítico, tungsteno, plata y oro, así como de pirita, barita, magnesita y anhídrida, mármol, bentonita, arcillas, arenas y piedras. Se disponía de 4 318 036 m³ de agua embalsada, varias fuentes de aguas termomedicinales y enormes recursos de aguas subterráneas.

Aunque desde la creación del Instituto Cubano de Recursos Minerales comenzó la exploración de petróleo y de gas natural, hay que subrayar que a mediados de la década de 1970 llegó a Cuba un amplio grupo de investigadores soviéticos, con la misión y el financiamiento necesario para realizar una evaluación profunda de las perspectivas de estos recursos. De conjunto con los cubanos se elabo-

raron mapas de la estructura geológica de Cuba, evaluaciones de las regiones con perspectivas gasopetrolíferas, y se descubrieron algunos yacimientos nuevos. Después de promulgada la Ley de Inversión Extranjera, se establecieron contratos con compañías extranjeras para continuar la prospección, lo que ha conducido a incrementar tanto las reservas, como los niveles de extracción de petróleo y de gas hasta el presente.

En diciembre de 1994 el Parlamento cubano aprobó la Ley 76 de Minas, proceso que concluyó con su promulgación el 23 de enero de 1995. La referida ley designa a la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) como *autoridad minera* adscripta al Ministerio de la Industria Básica. Esta oficina mantiene las funciones del antiguo Fondo Geológico y adquiere nuevas responsabilidades. Desde entonces, la Oficina ha desempeñado un importante papel en el ordenamiento y el control de la actividad minera, desde la explotación hasta el uso racional y la exportación de los recursos minerales.

Las principales instituciones que actualmente trabajan en el campo de la geología son: Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Empresas Geomíneras del Grupo Empresarial GEOMINSAL, Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) y Empresas de Extracción de Petróleo de CUPET, Unión del Cemento y del Vidrio, Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM), todas del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS); el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), y empresas de investigaciones y proyectos de la construcción; Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas a la Construcción (ENIA), Empresas de Materiales de construcción y la Unión del Mármol, todas del Ministerio de la Construcción (MICONs). También están las Empresas de Proyectos y Grupo Empresarial GEOCUBA, del Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (MINFAR); el Centro Universitario de Pinar del Río, el Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa y el Depar-

tamento de Geociencias del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), todos del Ministerio de Educación Superior (MES); también el Instituto de Geofísica y Astronomía, el Instituto de Oceanología y el Museo Nacional de Historia Natural, estos del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) y el Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional del Ministerio de Salud Pública (MINSAP).

El 24 de febrero de 1979 fue fundada la Sociedad Cubana de Geología (SCG) que agrupa a la mayoría de los profesionales y técnicos de la Geología, la Geofísica y la Minería. La SCG tiene entre sus objetivos contribuir al desarrollo de las ciencias geológicas, promover vínculos con profesionales de especialidades afines y garantizar la divulgación de sus experiencias, resultados y aplicaciones para el beneficio de la sociedad. Como primer presidente fue elegido el Dr. Gustavo Furrázola Bermúdez (1979-1983), maestro de varias generaciones de geólogos y paleontólogos cubanos. Después, han ocupado ese cargo, el Ing. Pedro Vega Masabó (1983-1987), el Dr. José Antonio Díaz Duque (1987-1993), el Dr. José Fernández Carmona (1999-2002), Lic. Roberto Gutiérrez Domech (2002-2004) y el Dr. Evelio Linares Cala (1993-1999, 2004-2007).

En 1983, se comenzó a publicar el *Boletín* de la Sociedad de Geología (SCG), que recoge momentos importantes de la vida de las filiales, así como textos de interés para todos los miembros. Asimismo, existe un sitio de Internet (www.scg.cu) con los mismos propósitos. En la actualidad, la Sociedad cuenta con diez filiales, que agrupan a más de 1300 miembros en todo el país.

La SCG ha organizado numerosos eventos científicos nacionales e internacionales. En este sentido, recogió la antorcha de los geólogos y mineros del siglo pasado, que en 1938 instauraron una Convención Nacional de Minería, la cual imprimió un impulso a la actividad geólogo-minera del país. El Primer Simposio de la Sociedad Cubana de Geolo-

gía se celebró en 1981 en el Capitolio Nacional. Desde entonces se han celebrado seis Congresos de Geología y Minería (1989, 1994, 1998, 2001, 2003 y 2005) y tres Congresos de Geofísica (1998, 2002 y 2005). Además, se han efectuado otros eventos internacionales relacionados con las geociencias, como Zeolitas'91 (La Habana, 1991), XIII Conferencia Geológica del Caribe (Pinar del Río, 1992), III Simposio de Geofísica y Reunión Coordinadora de la Unión Latinoamericana de Geofísica (La Habana, 1996), Primer Simposio de Minería (Matahambre, 1996), IV Conferencia Latinoamericana de Geofísica (La Habana, 2002), y Talleres Internacionales GEOINFO e IGCP/UNESCO. En estos eventos, se presentaron numerosos trabajos científicos de gran importancia para la geología del país, que aparecen publicados en las correspondientes *Memorias*. La Sociedad es miembro de la Unión Latinoamericana de Geofísica y desde finales de 2000, hasta marzo de 2002 fue la *coordinadora* y organizó la IV Conferencia Latinoamericana de Geofísica (La Habana, 2002). A partir de 2005, y para que tengan lugar cada dos años, se comenzaron a celebrar las Convenciones Cubanas de Ciencias de la Tierra, y las Ferias de Productos y Servicios. En la primera, celebrada en el Palacio de las Convenciones de La Habana, se reunieron—para orgullo de la ciencia cubana— alrededor de 600 profesionales y técnicos de las distintas especialidades de las geociencias, tanto cubanos, como extranjeros. La segunda convención (Fig. 1.7) celebrada en la misma locación en el año 2007, superó a la anterior en número de asistentes y en cantidad de ponencias. Asimismo, se efectuó el Primer Congreso Cubano del Petróleo y una reunión de los servicios geológicos de los países integrantes del ALBA (Alternativa Bolivariana para las Américas).

Otras sociedades existentes en Cuba relacionadas por su perfil y actividades con las geociencias, son la Sociedad Espeleológica de Cuba (SEC), la

Sociedad de Geografía (SG), y la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC).

La SEC ha contribuido en gran medida al conocimiento de la geografía de nuestro subsuelo, al estudio de las regiones cársticas, a la paleontología de los fósiles que aparecen en las cavernas, a la mineralogía de las formaciones cristalinas y a la historia del conocimiento de la naturaleza cubana, sobre todo gracias a los trabajos de su fundador, el Dr. Antonio Núñez Jiménez. La SG ha fomentado el conocimiento y la divulgación de la geografía como ciencia de la naturaleza cubana, y, en los últimos años, ha participado en estudios medioambientales. La UNAICC es una asociación de interés social, de carácter profesional, integrada por arquitectos, ingenieros y otros profesionales afines a la construcción, incorporados a las tareas de la edificación, la consolidación y la defensa de la nación cubana. Dentro de su objeto social están, entre otras actividades, establecer convenios y programas de colaboración con organizaciones profesionales homólogas, y con entidades de la construcción, organizar actividades de superación técnico-profesional y eventos científico-técnicos. Cuenta, en estos momentos, con más de 18 000 afiliados y varias filiales en las provincias.

Evaluada de conjunto la historia de la geología y la minería cubanas, se evidencia que cada etapa histórica fue precedida por una evaluación de los recursos naturales del territorio. Unos para ponerlos en función del desarrollo socioeconómico del país otras para aprovecharse de ellos y sacar el mejor partido. Estas experiencias nos enseñan que los recursos naturales de cada país deben estar controlados por la ley, a fin de que sirvan a los mejores intereses del desarrollo sostenible. Para ello es necesario disponer de una legislación adecuada, de las instituciones que hagan cumplirla y sobre todo de la voluntad política y la decisión irrenunciable de defender los intereses de los pueblos.



Fig. 1.7: Plenario de la II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, celebrada en el Palacio de Convenciones de La Habana, 2007. (Cortesía de E. Linares).

Sinopsis de la geología de Cuba

Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent

Los valles, llanuras, montañas y mares adyacentes a Cuba, se sustentan en un substrato rocoso de naturaleza muy variada, con la presencia de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las rocas más antiguas de Cuba alcanzan hasta 1 000 millones de años, y el mineral más viejo (circón) 2 500 millones de años, pero son más comunes los terrenos y minerales que datan de menos de 200 millones de años. Las rocas cubanas representan diversos ambientes y situaciones paleogeográficas ya inexistentes, cuya evolución en el tiempo y el espacio condujo a la formación del territorio actual (Fig.2.1).

En capítulos sucesivos, se profundizará en diversas aristas de la constitución y la evolución geológicas de Cuba hasta el presente, de manera que el lector, poco a poco, vaya adentrándose en las complejidades del tema. En primer lugar, ha de examinarse qué tipos de rocas hay en Cuba.

Las rocas y los procesos geológicos se clasifican según su antigüedad, puesto que la geología es una ciencia histórica. Los geólogos utilizamos una clasificación u ordenamiento de las rocas y procesos sobre la base de su edad, de este modo,

la historia de la Tierra se subdivide en eones, eras y sistemas (Tabla 2.1).

Tipos de rocas cubanas

En Cuba existen tres tipos de rocas (sedimentarias, ígneas y metamórficas) cuya antigüedad, por lo general, no excede 200 millones de años. Sin embargo, estas rocas se encuentran en distintas posiciones en el territorio cubano, tanto en la horizontal, como en la vertical. Por ejemplo, en el Escambray hay rocas metamórficas de alta presión, más al norte aparecen rocas metamórficas de alta temperatura; entre Manicaragua y Cumanayagua se encuentran rocas ígneas (plutónicas y volcánicas), y avanzando al norte hasta Santa Clara se localizan serpentinitas y gabros. Si se continúa al norte en esa misma dirección aparecen distintos tipos de rocas sedimentarias. Esta variación de los tipos de rocas, según se avanza de un lugar a otro, se repite en casi cualquier lugar del territorio cubano. Lo mismo es observable si se perfora un pozo profundo, pues en los registros se obtienen

distintos tipos de rocas que yacen unas sobre las otras. Por ejemplo, en el pueblo de Mercedes en Matanzas, se perforó un pozo para investigaciones de petróleo. La barrena encontró rocas sedimentarias cada vez más viejas, del Mioceno, Oligoceno, Eoceno y Cretácico; a casi tres mil metros de profundidad se cortaron rocas ígneas. Estos ejemplos permiten demostrar que la constitución geológica del territorio cubano es muy compleja, formada por capas superpuestas de diferente composición, como un “pastel”. Para obtener una visión clara de esta estructura es necesario disponer de mapas que muestran la distribución de las

rocas en el plano y perfiles, que representan la constitución profunda.

Los mapas geológicos de Cuba revelan que las rocas sedimentarias son muy comunes en la superficie del terreno, así como en los cayos e islas y bajo los fondos marinos de la plataforma insular. Entre estas predominan las calizas. En segundo lugar se encuentran las rocas ígneas, tanto efusivas como intrusivas. En cuanto a las rocas metamórficas son las menos abundantes en superficie, y se encuentran principalmente en la Isla de la Juventud, la Cordillera de Guamuhaya, la Sierra del Puirial y otras zonas (Fig. 2.1).

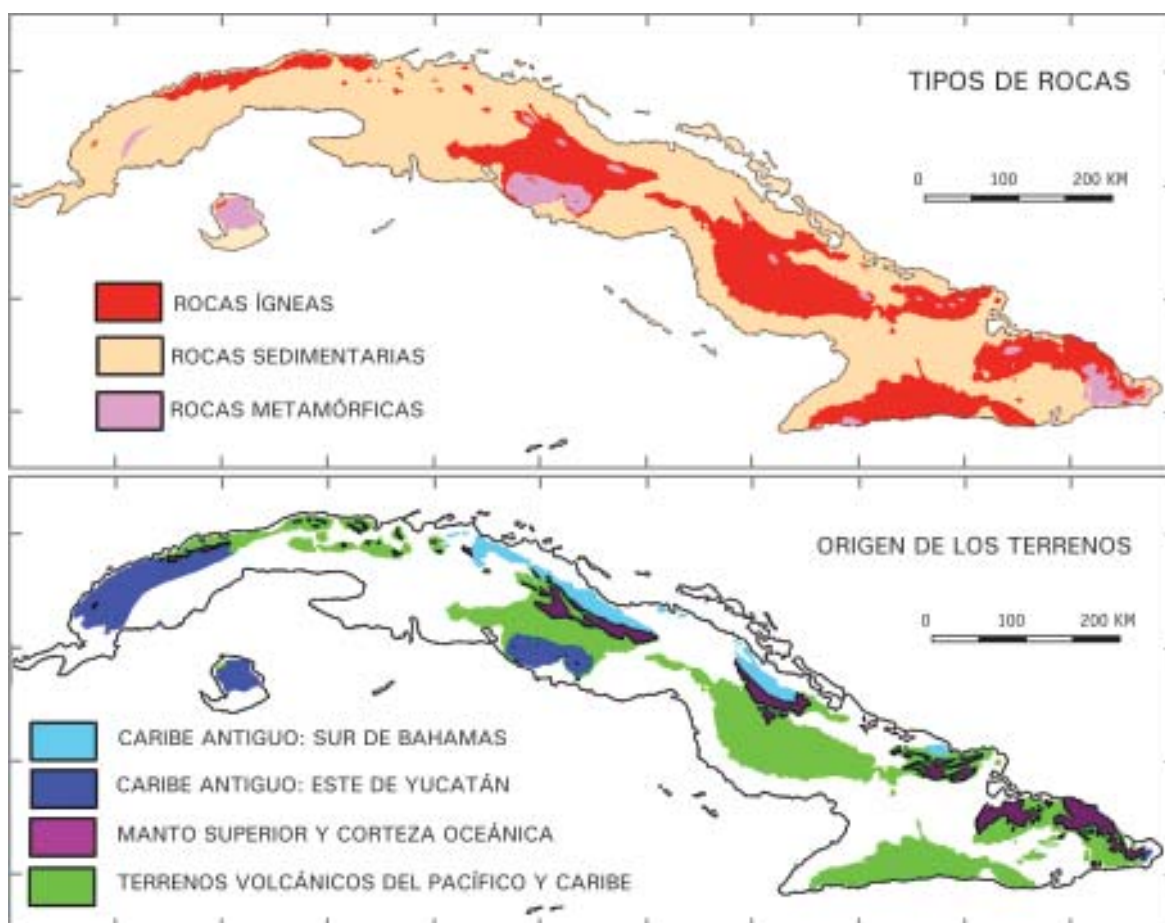


Fig. 2.1: Distribución de los tipos de rocas y del origen de terrenos cubanos.

TABLA. 2.1
Edades geológicas representadas en Cuba

Eones y eras	Sistemas	Desde	Hasta
Era Cenozoica	Holoceno	0,0115	Presente
	Pleistoceno	1,806	0,115
	Plioceno	5,332	1,806
	Mioceno	23,03	5,332
	Oligoceno	33,9	23,03
	Eoceno	55,8	33,9
	Paleoceno	65,5	55,8
Era Mesozoica	Cretácico superior	99,6	65,5
	Cretácico inferior	145,5	99,6
	Jurásico superior	161,2	145,5
	Jurásico inferior y medio	199,6	161,2
	Triásico	251,0	199,6
Era Paleozoica		542	251,0
Eón Proterozoico		2500	542
Eón Arcaico		4500?-4800?	2500

Nota: Las cifras se expresan en millones de años, de acuerdo con la comisión internacional de estratigrafía, año 2006.

Las *rocas sedimentarias* (Fig. 2.2) son aquellas que se han originado como consecuencia de la acumulación de materiales en la superficie terrestre, y en sentido general pueden ser de origen granular, orgánico, químico o sus combinaciones. Las rocas sedimentarias de origen orgánico se forman como resultado de la actividad biológica que provoca la concentración y la acumulación de distintos tipos de minerales de origen orgánico (calcita, aragonita, fosforita, apatita), tanto en forma de polvo como partes del organismo (huesos, conchas). Si estas rocas se forman en el mar, en las costas o en la tierra, pueden contener restos fósiles de organismos propios de esos ambientes, y presentar características que las distinguen. Entre estas rocas están, por citar las más representadas en Cuba, la caliza, la dolomía, la creta, la marga y los fangos de globigerinas. Las rocas de origen químico se originan con mayor frecuencia en medios acuáticos, donde hay una alta concentración de uno o de varios componentes, y se denominan evaporitas. Entre ellas po-

demostramos nombrar la halita (cloruro de sodio), la anhidrita y el yeso (sulfato de calcio), y algunas calizas y dolomías (carbonato de calcio y magnesio). Los principales lugares donde están expuestas estas rocas son el Valle del Yumurí (Matanzas), las Lomas de Punta Alegre y Turiguanó (Ciego de Ávila) y en Baitiquirí (Guantánamo). Las rocas sedimentarias granulares se forman a partir del transporte de detritos arrancados por la erosión desde las partes más altas del relieve, que se depositan en las depresiones del terreno que se denominan comúnmente cuencas. Estas rocas se subdividen según el grosor (diámetro) del grano en arcillas (cuyas partículas son muy finas), limonitas, areniscas, conglomerados y brechas (cuyos componentes pueden tener hasta varios metros de diámetro). Algunas veces estos sedimentos se forman cerca de los volcanes y en dicho caso pueden contener vidrio, cristales y fragmentos de rocas derivadas de la actividad volcánica explosiva. En estos casos, estas rocas se denominan areniscas vulcanógenas, tobas, tufitas, etc.

Usualmente, las rocas sedimentarias presentan una estructura interna de capas superpuestas bastante bien definidas, que se denominan estratos, cuyo ordenamiento refleja, con frecuencia, las condiciones en que se acumularon los sedimentos. Es importante resaltar que, al formarse los depósitos sedimentarios

están constituidos por materiales poco consolidados, a menudo muy húmedos. Por ello, el proceso de conversión en rocas puede tomar algún tiempo que depende de la composición del sedimento y del agua, y en qué medida el depósito se hunde en las profundidades de la tierra, entre otros muchos factores.



Fig. 2.2: Ejemplos de rocas sedimentarias: 1. Calizas estratificadas del Jurásico superior (carretera de montaña, Sierra del Rosario, Pinar del Río). 2. Silicitas con radiolarios del Cretácico inferior (carretera de montaña, Sierra del Rosario, Pinar del Río). 3. Conglomerado del Plioceno (Abra de Yumurí, Matanzas). (Cortesía de Carmen Fraticelli). 4. Areniscas plegadas del Jurásico inferior a medio, propias del continente Pangea (Alturas de Pizarra del Norte, Pinar del Río).

De acuerdo con su edad, en Cuba las rocas sedimentarias más antiguas son del Jurásico, y las más jóvenes pueden estar consolidándose en este momento. Para profundizar en este tema se deben consultar obras de geología física, sedimentología y estratigrafía.

Las *rocas ígneas* (Fig. 2.3) se originan como resultado del enfriamiento de los magmas provenientes del interior de la tierra y se caracterizan

por su aspecto casi siempre cristalino, pues con frecuencia están constituidas por cristales minerales y, en menor grado por vidrio volcánico. Ellos cristalizan según se van enfriando los magmas, tanto en la profundidad (intrusivas y subvolcánicas), como al brotar a la superficie de los mares o tierras (efusivas). Los distintos minerales se van solidificando, en la medida que se enfría el magma en una cámara magmática o cuando ascienden

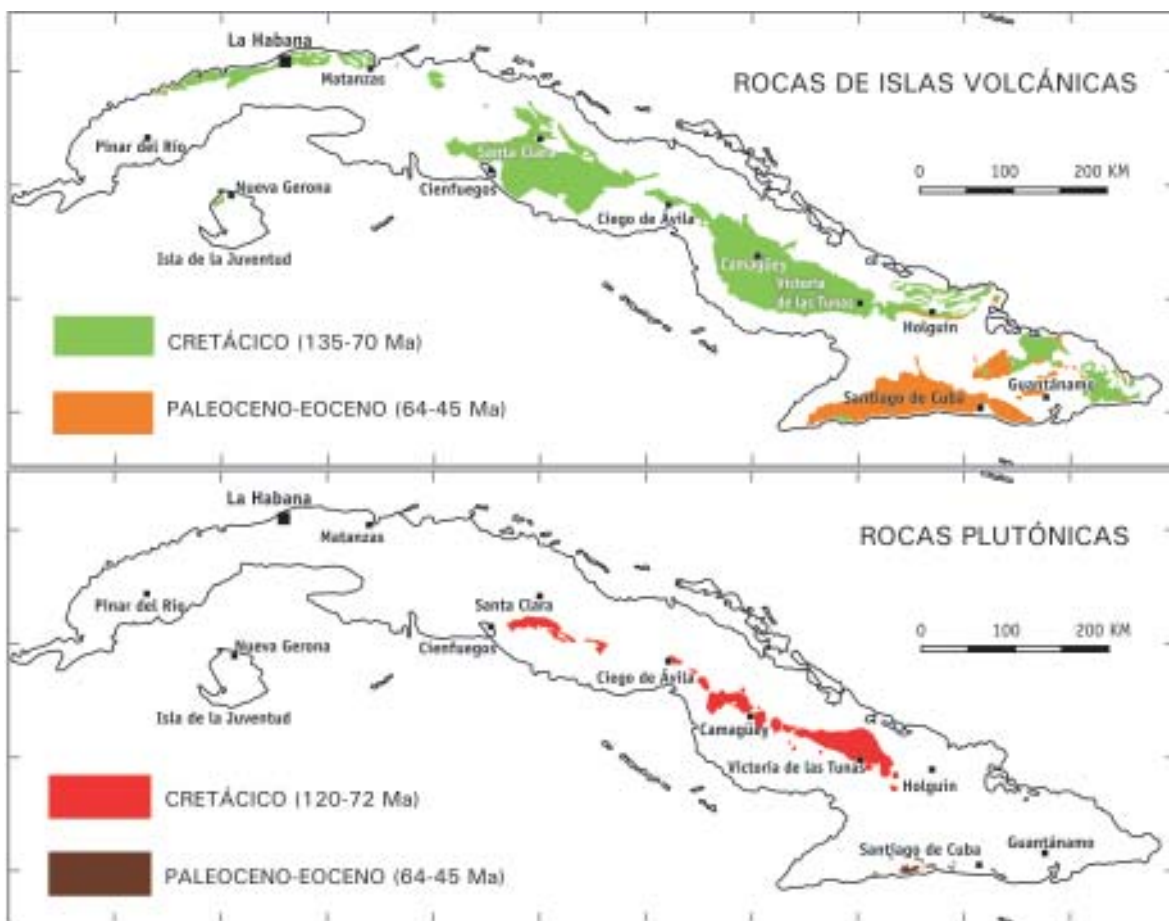


Fig. 2.3: Distribución en Cuba de los distintos tipos de rocas propias de los archipiélagos de islas volcánicas. Se distingue uno del Cretácico (135 a 70 millones de años) y otro del Paleoceno-Eoceno (64 a 45 millones de años), este último restringido a Cuba oriental.

a la superficie terrestre y se derraman en forma de lava (Fig. 2.4). Como resultado de este proceso, se originan distintos tipos de rocas ígneas, dependiendo de la composición química y el contenido en gases y agua del magma, así como de acuerdo con el tamaño y la forma de los cristales minerales y el vidrio volcánico. Estas características dependen de las condiciones de presión y de temperatura prevalecientes en el lugar donde cristalizaron esas rocas, así como del tiempo que tardaron en enfriarse. Las rocas ígneas básicas y ultrabásicas (ricas en hierro y magnesio) son más comunes en los magmas que proceden del manto superior y que brotan en los océanos, mientras que las de composición intermedia y ácida (ricas en silicio y aluminio) predominan en las islas volcánicas y en los continentes. La presencia de abundante sílice y de otros elementos ligeros, en ocasiones se debe a que los magmas durante su ascenso desde las cámaras magmáticas, entran en contacto y se enriquecen con estos elementos al atravesar rocas que los contienen.

Las rocas ígneas también se distinguen por su aspecto, pues hay variedades con cristales o fragmentos de vidrio muy finos (afaníticas), otras con cristales aislados bien formados en una masa de cristalititos o vidrio fino (porfiritas), hasta algunas con cristales enormes denominadas pegmatitas. Las ya mencionadas, más una infinita gama de variedades intermedias, adquieren sus características de acuerdo a las condiciones físico-químicas y el tiempo en que ocurre el enfriamiento de los magmas. Para profundizar en este tema, se deben consultar obras de mineralogía y de petrología (Fig. 2.5).

En Cuba hay rocas ígneas en muy diversas condiciones y edades. Las más antiguas, propias del manto superior y de la corteza oceánica (Fig. 2.6), son las variedades ultramáficas y máficas, que forman una serie de elevaciones y llanos, desde Cajálbana hasta La Tinta. Estas son dunitas, peridotitas y gabros serpentinizados, que aparecen junto con basaltos en almohadillas y radiolaritas (rocas sedimentarias ricas en radiolarios), todas de edades jurásicas y cretácicas (Fig. 2.7).

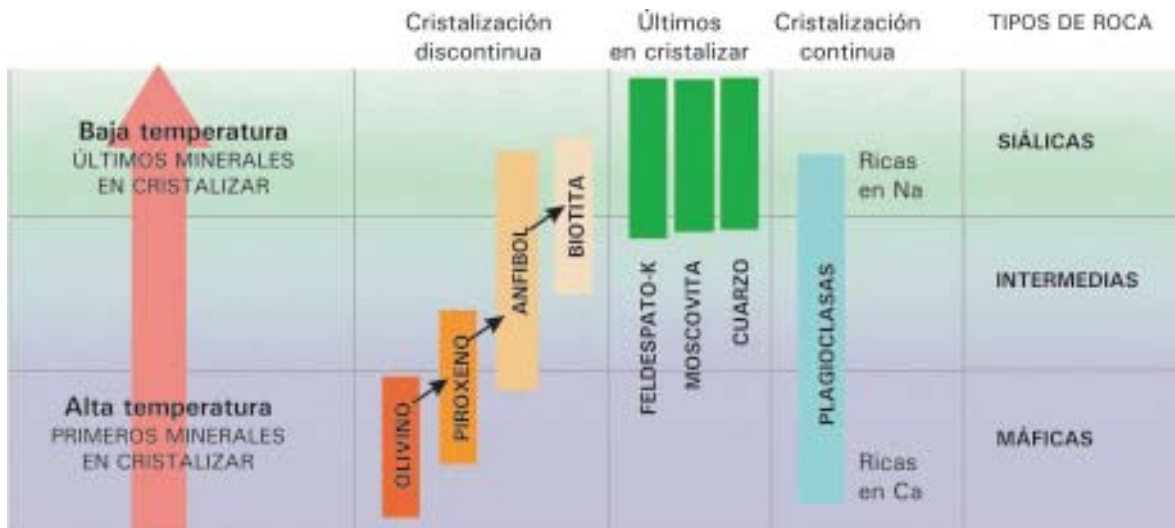


Fig. 2.4: Secuencia de cristalización de los minerales componentes principales de las rocas ígneas, en el proceso de enfriamiento de los magmas. (Adaptado de *Understanding Earth*).



Fig. 2.5: Rocas propias de los archipiélagos volcánicos: 1. Basaltos en almohadilla, típicos de derrames submarinos de lava (55 millones de años) (Sierra Maestra, Cuba Oriental). 2. Lava riolítica fluida de volcanes terrestres (76 millones de años) (Las Margaritas, Camagüey). 3. Estratos de tobas y tufitas relacionados con erupciones explosivas (60 millones de años) (La Alcarraza, Guantánamo). 4. Diorita con inclusiones más máficas (90 millones de años) (carretera Manicaragua-Cumanayagua, Villa Clara).

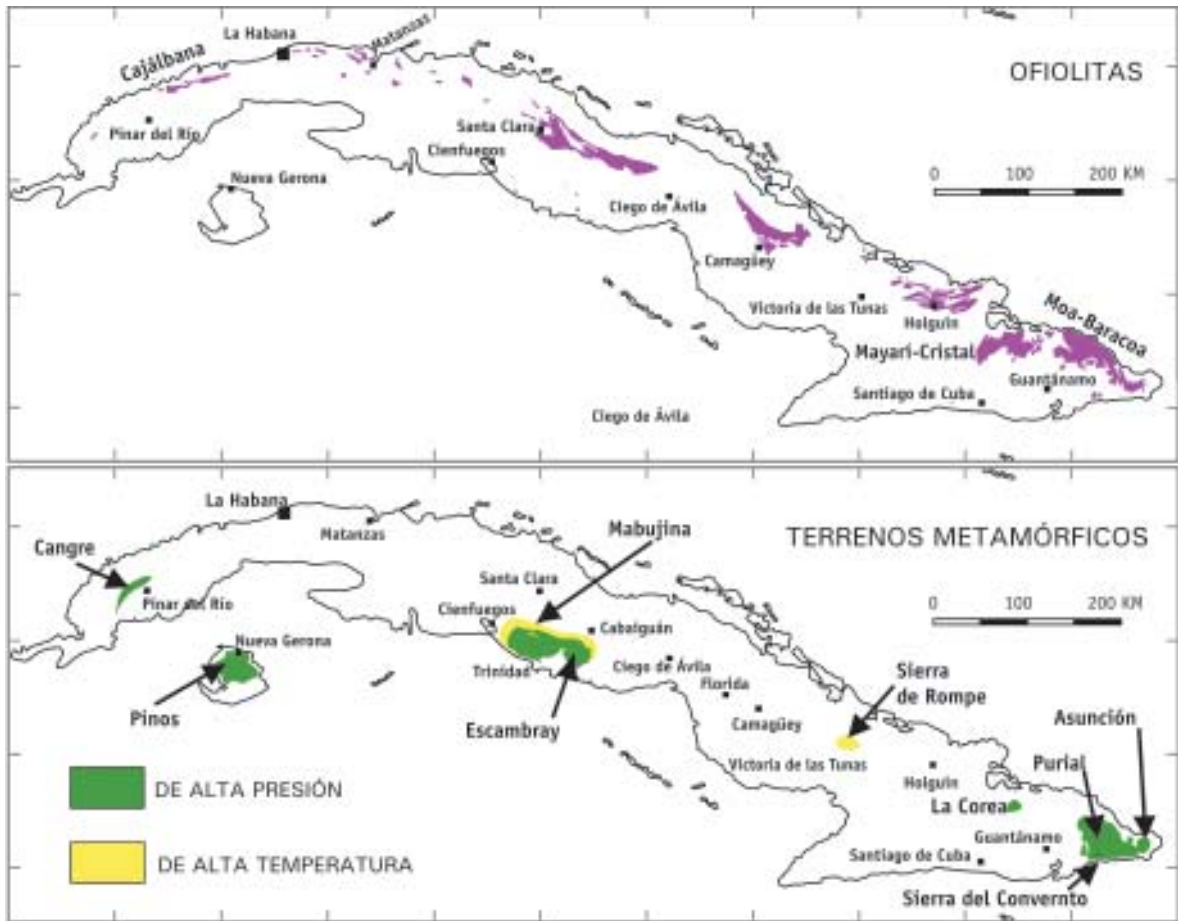


Fig. 2.6: Distribución en Cuba de los distintos tipos de rocas propias de los fondos oceánicos y el manto superior (ofiolitas), y de los terrenos metamórficos.



Fig. 2.7: Rocas del fondo oceánico y el manto superior de Cuba (ofiolitas): 1. Serpentinitas fracturadas (cercañas de Santa Clara, Villa Clara). (Cortesía de Antony Gorody). 2. Gabros fracturados (proximidades de Moa, Holguín). 3. Gabros bandeados (inmediaciones de Moa, Holguín). (Cortesía de Wilson Ramírez). 4. Basaltos oceánicos (vecindades de Baracoa, Guantánamo). (Cortesía de Wilson Ramírez).

La mayor diversidad de rocas ígneas se presenta asociada a terrenos que se formaron, originalmente, en archipiélagos de islas volcánicas (Figs. 2.3 y 2.5) del Cretácico (140 a 70 millones de años) y el Paleoceno-Eoceno (64 a 45 millones de años). Estas rocas tienen una amplia distribución en el territorio cubano y en la costa noroccidental de la Isla de la Juventud, con variedades de origen profundo (plutónicas o intrusivas) y de origen superficial (rocas efusivas y subvolcánicas). De acuerdo con su composición se denominan basaltos, andesitas, dacitas y riolitas.

Las metamórficas son rocas ya existentes (ígneas o sedimentarias), que sufrieron modificaciones al estar sometidas a la acción de presiones y temperaturas distintas de aquellas que dieron lugar a la roca original (llamada protolito). Estas transformaciones modifican la composición mineralógica y la estructura interna del protolito, a veces de manera tal que es muy difícil reconocer cuál era la roca primitiva. El concepto de metamorfismo agrupa todos los procesos de transformación mineralógica y estructural de las rocas, y puede ser de distinto tipo. El metamorfismo térmico generalmente está determinado por el aumento de la temperatura, a consecuencia del incremento de la profundidad, el rozamiento de las rocas al desplazarse a lo largo de los planos de falla, o la proximidad de un magma caliente. El metamorfismo por el aumento de presión es causado por el enterramiento profundo de las rocas, o al estar sometidas a esfuerzos de compresión. El metamorfismo químico o metasomatismo se produce cuando las rocas originales son impregnadas por fluidos ricos en aguas minerales y gases que modifican su composición, producen cambios en la textura de las rocas, y se forman nuevos minerales.

En Cuba se encuentran rocas metamórficas de todos los tipos mencionados, tanto en la superficie, como en el subsuelo (Figs. 2.6 y 2.8). Metamorfitas de alta presión se conocen como bloques (eclogitas, esquistos verdes, anfibolitas), que aparecen entre las serpentinitas del norte de Cuba, y

forman los macizos de la Isla de la Juventud y de Guamuhaya (filitas, esquistos, mármoles, anfibolitas). También se les encuentra en la Sierra del Purial (esquistos, mármoles), en algunas localidades de la Sierra del Cristal (anfibolitas y esquistos), y de la Cordillera de Guaniguanico (filitas y anfibolitas). La presencia de rocas con metamorfismo de alta temperatura y metasomatismo, se reconoce en los terrenos donde existen conjuntos de rocas de islas volcánicas. Estas metamorfitas son principalmente cuarcitas, caolines, anfibolitas y calizas cristalinas impregnadas de vetas de minerales metálicos. Al noroeste de Villa Clara, en Sierra Morena y en Socorro, se conocen las rocas metamórficas más antiguas de Cuba, representadas por mármoles y esquistos del Neoproterozoico, con 1 000 a 1 200 millones de años de antigüedad.

Procedencia de las rocas cubanas

Las rocas que en la actualidad forman el substrato del territorio cubano, se originaron en el pasado, a veces muy lejos del lugar que ocupan en el presente, es decir, en otras geografías ya desaparecidas (Fig. 2.1). Por ello se puede afirmar que el fundamento geológico de Cuba es una amalgama de rocas de diversas *procedencias*, que parafraseando lo que se afirma respecto de nuestra nacionalidad y, quizás, como un efecto precursor de la misma, se trata de un “ajiacó” geológico. El mapa citado muestra el desarrollo superficial de las rocas cubanas, agrupadas de acuerdo con su origen paleogeográfico. Al observarlo resulta impresionante notar que antiguas geografías, como el Caribe primitivo, que tenían una extensión de muchos cientos de miles de kilómetros cuadrados, hoy día están reducidas a fajas de rocas plegadas, de apenas 20 km de ancho por 800 o 900 km de largo.

Los geólogos aplicamos el término *terreno tectónico* para distinguir un conjunto de rocas que se formaron en lugares lejanos y que han tenido que viajar muchos kilómetros hasta su lugar actual. De

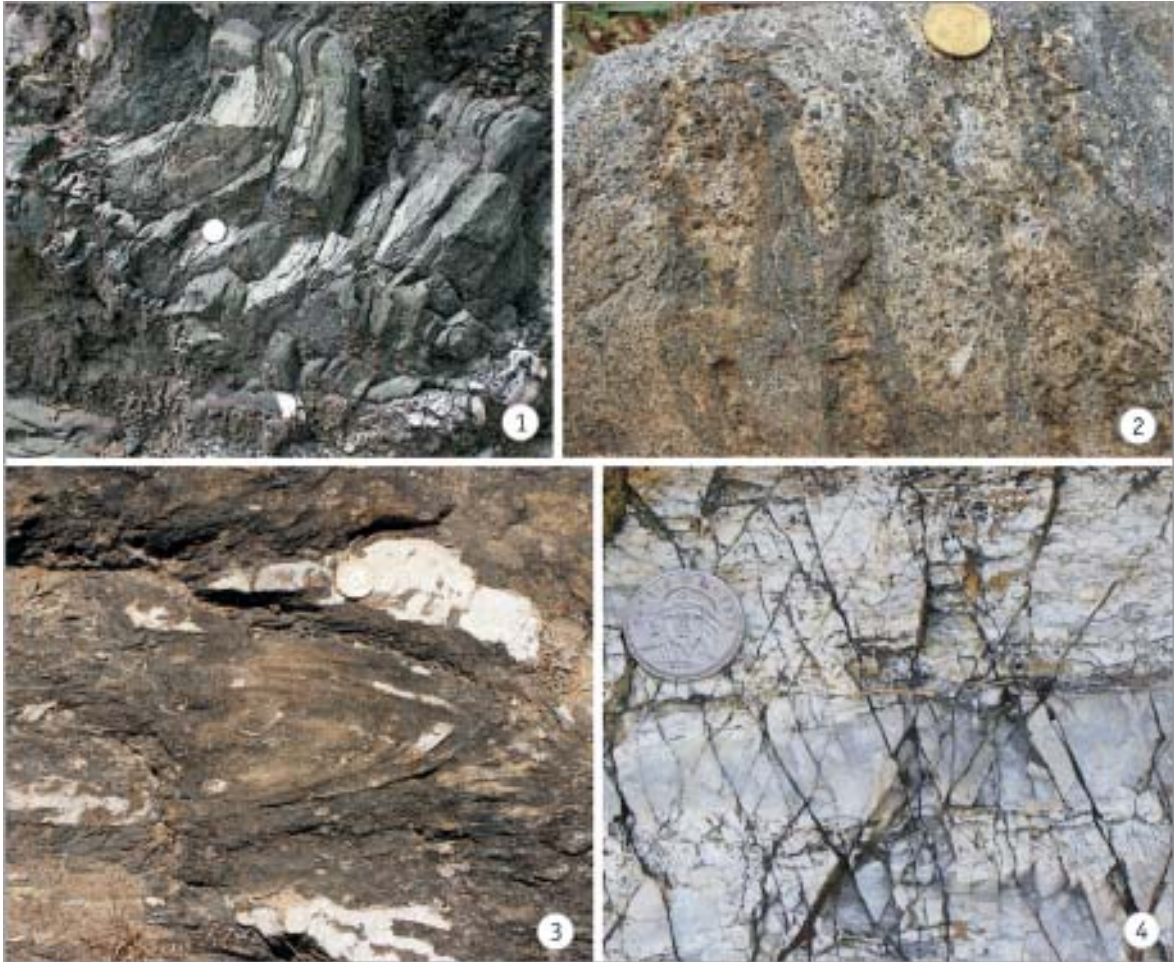


Fig. 2.8: Rocas metamórficas de Cuba: 1. Esquistos verdes (metavolcánicos) (carretera la Farola, Guantánamo). 2. Anfibolitas (metamorfitas de alta temperatura) (norte de Guamuhaia, Cienfuegos). 3. Mármoles y esquistos calcáreos (plegados) (Guamuhaia, Cienfuegos). 4. Gneiss fracturado (metamorfitas de alta temperatura) (Guamuhaia, Cienfuegos).

acuerdo con ello, en el substrato de Cuba se distinguen porciones de las Bahamas, que en el pasado se extendían mucho más al sur. Estas partes de la placa norteamericana están presentes en las Sierras de Remedios, Meneses y Jatibonico, en las lomas de Punta Alegre y Turiguanó, en las lomas de Jigüey, la Sierra de Cubitas y la Meseta de Gibara. También se reconocen los terrenos tectónicos de Guaniguani, Isla de la Juventud y Escambray, que fueron arrancados desde el borde de la península de Yucatán hace alrededor de 70 millones de años, y se han desplazado hasta su lugar actual, adonde llegaron hace casi 45 millones de años. Asimismo, hay rocas que formaron parte del fondo del Caribe primitivo y ahora se encuentran en Cuba centro-oriental, como un cinturón de rocas sedimentarias muy plegadas y adosadas a las Bahamas, que están expuestas en Cantel, Sordo Viejo y Menéndez (Matanzas), en las alturas del norte de las Villas, desde Sierra Morena hasta las lomas de Mabuya (Villa Clara y Sancti Spiritus), en la Sierra de Camaján (Camagüey), pequeñas alturas al norte de Holguín, y entre La Tinta y Maisí (Guantánamo).

En una porción importante del territorio cubano se desarrolla un cinturón alargado de noroeste a sureste donde se encuentran rocas que se originaron en el manto superior (serpentinitas, dunitas), en la corteza oceánica (gabros, basaltos) y en los fondos marinos (radiolaritas y otras rocas sedimentarias) (Figs. 2.6 y 2.7). Estas rocas, que se denominan ofiolitas (*ofio* verde-azul y *lithos* roca), están expuestas en las Alturas de Cajálbana en Pinar del Río; las lomas de Guanabacoa, La Coca, Lomas de Galindo, y Madruga en La Habana y Matanzas; en Cuba central entre Cascorro y Placetas, entre Esmeralda y Senado (Camagüey), en la región entre Holguín y Banes; y en Cuba oriental, en las sierras de Mayarí, Moa, Baracoa y del Convento. A manera de inclusiones, en el área de desarrollo de las ofiolitas se encuentran masas de serpentinita muy deformadas, con bloques de rocas metamórficas de alta presión (eclogitas, anfibolitas, esquistos glau-

cofánicos). Estas rocas son un testimonio de la existencia, en el pasado, de un límite convergente asociado a las ofiolitas (Capítulo 4). Las paredes y el fondo de la fosa de Bartlett-Caimán están constituidos por serpentinitas, gabros y basaltos.

En el territorio cubano también hay rocas que formaban parte de la placa del Caribe, y se trasladaron desde el Océano Pacífico hasta el lugar que ocupan hoy día, después de recorrer más de 1 000 km. Son representativos los complejos rocosos formados en antiguos archipiélagos de islas volcánicas del Cretácico (140 a 70 millones años), constituidos por rocas efusivas (riolitas, dacitas, andesitas y basaltos), que se encuentran intercaladas con rocas sedimentarias (tobas, tufitas, conglomerados, areniscas y calizas) y atravesadas por rocas plutónicas (granitos, granodioritas, dioritas, gabros). Estos conjuntos rocosos se pueden encontrar en La Mulata, Bahía Honda y Mariel, La Habana y Matanzas, la parte central de la región villareña, Ciego-Camagüey-Las Tunas, y distintas partes de Cuba oriental (Figs. 2.3 y 2.5). Además, en Cuba oriental están otros conjuntos de rocas semejantes, propias de un archipiélagos volcánico ya extinguido, pero que se originaron entre los límites del Mar Caribe (64 a 45 millones de años). En otras palabras, las rocas que componen Cuba oriental se formaron también más al sur, a 500 o 600 km de su lugar actual. Estas componen hoy el substrato de la Sierra Maestra y aparecen en distintas partes de las provincias de Granma, Santiago, Holguín y Guantánamo (Fig. 2.3). La presencia de complejos rocosos que se produjeron en islas volcánicas, marcan la existencia de un límite de placas convergente ya inactivo, como se argumentará en el Capítulo 4.

Las rocas más jóvenes de Cuba, con una antigüedad menor de 40 millones de años, son todas de origen sedimentario y predominan las areniscas, margas, y calizas de origen marino (Figs. 2.1 y 2.2). Estas rocas, que abarcan una gran parte del territorio actual, así como los cayos, islas y fondos de la plataforma insular, tienen grabada la historia de formación del paisaje de nuestro territorio. Estas se

pueden observar en la mayoría de las costas rocosas que tienen terrazas marinas, en Guanahacabibes y las llanuras en el sur de Pinar del Río, La Habana y Matanzas, en el sur de la Isla de la Juventud, y a lo largo de las costas, desde Mariel, hasta Varadero. Son comunes en la llanura de Morón a Júcaro y por la costa sur de Camagüey y Las Tunas hasta enlazar con el valle del Cauto y Cabo Cruz. También en Maisí, las costas de Baracoa hasta Moa y alrededor de la Bahía de Nipe y por la costa norte desde Gibara hasta Puerto Padre, pasando por Camagüey y Ciego de Avila hasta Chambas. Como en estos terrenos predominan las calizas, en general se encuentran paisajes cársticos con muchas cavernas y suelos rojos. A diferencia de los conjuntos rocosos caracterizados anteriormente, que se formaron lejos de su lugar actual, todas las rocas de 37 millones de años de antigüedad y más jóvenes se formaron en el mismo sitio donde aparecen en la actualidad.

Estructura geológica de Cuba

La Geología Estructural es una especialidad que se ocupa de reconstruir la arquitectura de la corteza terrestre, es decir, cómo están dispuestas las rocas

en el subsuelo. En Cuba se pueden reconocer dos grandes niveles estructurales, o dicho en otras palabras, dos partes: una inferior, más deformada y metamorfizada, que constituye el substrato plegado, y otra superior, menos deformada, no metamorfizada (Fig. 2.9).

El nivel inferior, también denominado *substrato plegado* u *orógeno cubano*, está constituido por todas las rocas que tienen una antigüedad mayor de 37 millones de años. Este conjunto ha sufrido reiteradas deformaciones, hasta que entre el Paleoceno y el Eoceno superior (65 a 37 millones de años), fueron amalgamadas y transportadas hasta su lugar actual. Por eso en Cuba hay fragmentos de otras paleogeografías, tales como segmentos del manto superior y la corteza oceánica, algunos que provienen del Océano Pacífico, grandes sectores del Caribe primitivo, fragmentos enormes que antes pertenecían a México y la península de Yucatán, e incluso, las partes más meridionales de lo que fueron las Bahamas en el pasado. Estos distintos elementos están superpuestos e internamente muy deformados, fracturados y metamorfizados. Los perfiles de la figura 2.10 muestran cuán compleja es la estructura del substrato plegado cubano.



Fig. 2.9: Rocas cubanas, según el grado de deformación (plegamiento) y metamorfismo.

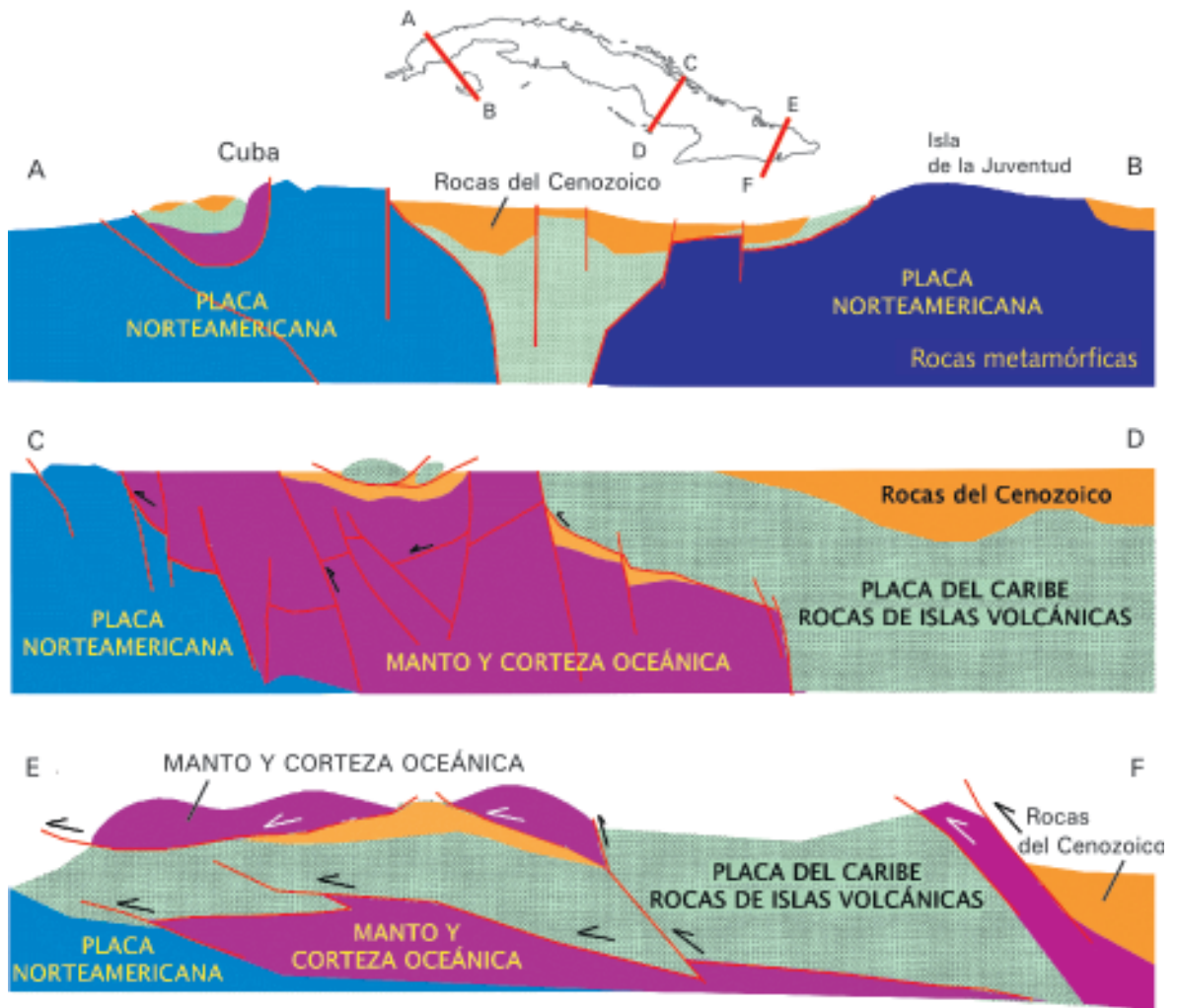


Fig. 2.10: Perfiles geológicos de la estructura profunda de Cuba. Observe la posición superpuesta de los terrenos con orígenes muy distintos.



Fig. 2.11: Estructura del territorio cubano dividido en grandes bloques elevados (*horst*) o deprimidos (*grabens*), limitados por sistemas de fallas profundas.

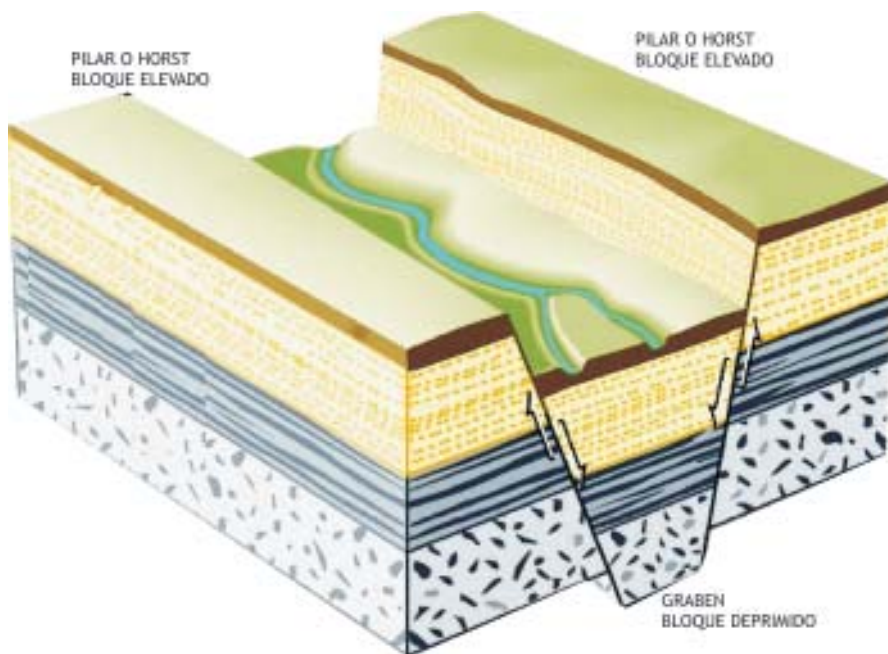


Fig. 2.12: Maqueta de un sistema de fallas y bloques elevados (*horst*) y deprimidos (*grabens*). En los bloques elevados predomina la erosión; en los deprimidos, la acumulación de sedimentos. (Adaptado de *Understanding Earth*).

El nivel superior, también denominado *neoaútóctono*, está constituido por todas las rocas que tienen una antigüedad menor de 37 millones de años, las que descansan como un manto sobre el substrato plegado (Fig. 2.10). Todas estas se depositaron en su lugar actual, aunque en otras condiciones geográficas, tanto bajo el mar, como en islas y cayos, cuyos contornos eran distintos a lo que conocemos en el presente. Estas rocas del neoaútóctono no presentan actividad magmática ni metamorfismo. En los perfiles se puede observar que yacen con pocas deformaciones, pero están cortadas por fallas verticales o poco inclinadas, que subdividen el territorio en bloques elevados (*horst* o pilares) y bloques deprimidos (*grabens*) (Figs. 2.11 y 2.12). Los desplazamientos

verticales de estos bloques, de carácter oscilatorio, en combinación con las oscilaciones del nivel del mar durante los últimos 37 millones de años, han terminado por labrar el relieve del archipiélago cubano. Por lo general, en los bloques elevados están situados los principales grupos montañosos del territorio, y en los bloques deprimidos, las llanuras y los fondos marinos, aunque hay excepciones como se observa en el mapa (Fig. 2.11).

Sin embargo, también existen fallas con desplazamiento horizontal deslizante, de rumbo NE-SW y E-W, como la falla Oriente, que pasa al sur de la Sierra Maestra por la fosa de Bartlett-Caimán, representando el límite entre la microplaca cubana y la placa del Caribe.

Curiosidades de la geología de Cuba

Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent

La historia geológica de Cuba ha dado lugar a un número de formaciones rocosas, fósiles y minerales que deberían formar parte del acervo cultural de nuestra nación. Por eso, en este capítulo se reúnen algunas curiosidades que constituyen verdaderas maravillas del paisaje natural del archipiélago cubano.

Mogotes

El término *mogote* surgió en Cuba para designar una elevación de roca caliza, de cima más o menos redondeada, con paredes esencialmente verticales, muy comunes en el Valle de Viñales (Fig. 3.1). Después, se ha aplicado a montañas calizas de paredes verticales que se conocen en otras regiones de Cuba (Alturas de Tapaste, El Pan de Matanzas, El Pan de Guajaibón), República Dominicana (Los Haitises) y Puerto Rico (serranías del norte). Algunas elevaciones comparables a los mogotes de Viñales por su forma y origen, existen en China, Viet Nam y Tailandia. Los investigadores que estudian el relieve de las calizas les llaman “carso cónico”, o “carso de torres” a las

elevaciones de calizas con paredes más o menos verticales y cimas redondeadas.

La Sierra de los Órganos, en el occidente cubano, recibe este nombre porque desde el mar, mirando al sur, los empinados mogotes parecen los tubos de un órgano de piedra. Los mogotes de esta sierra no son solo exuberantes por su forma, sino por el alto endemismo de plantas y animales que viven en estos, y sobre todo, por su origen.

Los mogotes de la Sierra de los Órganos presentan muchas variaciones en su forma. Algunos aparecen aislados, pero, como regla, forman cadenas o sierras. Vista desde un avión o helicóptero, la cima de los mogotes presenta varios morros, separados por profundas hendiduras o por valles intramontanos de perímetro circular, que los campesinos llaman hoyos de montaña. Estos “hoyos” se asemejan a los agujeros azules (*blue holes*) del fondo marino y a las casimbas o cuevas verticales, con la particularidad de que estos se hallan secos y localizados a gran altura. Estos hoyos de montaña se originaron por el desplome del techo de cavernas, tal como se forman las casimbas y los agujeros azules (Capítulo 9). Hay mogotes que, de perfil, parecen ele-

fantes, otros se asemejan a las pirámides mayas. Muchos tienen figuras caprichosas, que los lugareños han bautizado haciendo uso de su imaginación (por ejemplo, La Muela de la Vieja, Pico alto). Los mogotes aparentan ser enormes moles de dura roca caliza, sin embargo, nada más lejos de la realidad. Lo cierto es que en su interior se encuentran superpuestos varios niveles de cavernas horizontales unidos por cuevas verticales, con salones que alcanzan la centena de metros de diámetro y de altura. En otras palabras, los mogotes son como un “cascarón” con inmensos vacíos en su interior (Fig. 3.2).

Rocas. Los mogotes de Pinar del Río están compuestos por calizas negras y grises, carentes de porosidad, que pertenecen a la era Mesozoica, de edades jurásica superior y cretácica (161 a 65 millones de años).

En particular, las rocas calizas que forman los mogotes se destacan por estar compuestas por ca-

pas superpuestas (estratos), cada una de pocos centímetros, que sumadas alcanzan más de mil metros de espesor. En este conjunto de rocas se intercala un horizonte de casi seiscientos metros de espesor de calizas no estratificadas, masivas, que los geólogos denominamos miembro San Vicente de la Formación Guasasa. La presencia de esas calizas estratificadas, intercaladas con las calizas masivas en la composición de los mogotes determina la existencia de las paredes verticales, que se desarrollan allí donde se hallan las calizas masivas. Sin embargo, en algunos casos, las paredes verticales coinciden con fallas y pueden aparecer, incluso, cuando las calizas están bien estratificadas.

En la Sierra de Rosario las elevaciones también se componen de calizas, las cuales se intercalan con rocas no calcáreas, todas muy bien estratificadas. Por ello no son comunes las laderas verticales y se forman lomas del tipo “cuchillas”, con agudas cimas alargadas y laderas suavemente inclinadas.



Fig. 3.1: Aspecto de los mogotes de la Sierra de los Órganos, en Pinar del Río. A la derecha, la Sierra de Guasasa; a la izquierda, el mogote Muela de la Vieja.



Fig. 3.2: Acción del agua sobre la roca caliza en la Sierra de los Órganos, Pinar del Río: 1. y 2. Agujas de caliza en el Valle de Dos Hermanas. Observe las acanaladuras verticales (*karren*) provocadas por el agua de lluvia. 3. y 4. Inmenso espacio vacío del interior de un mogote, causado por la acción combinada de la erosión, la disolución por las aguas, y el desplome de techos y paredes (3. y 4. Cortesía de Julia Morgan).

Movimientos del terreno. Una premisa importante para la formación de los mogotes es el movimiento de levantamiento secular del terreno, que con el transcurso del tiempo ha dado lugar a la formación de las montañas de la Cordillera de Guaniguanico. Estos movimientos también generan fallas y fracturas, que dividen todo el macizo rocoso en bloques distintamente levantados (Fig. 2.12), donde la acción de la erosión ha originado valles y ha delimitado serranías. Si no se levantase el terreno, no habría montañas ni estuvieran presentes con mayor intensidad los procesos provocados por la acción de la atracción de la gravedad (derrumbes y deslizamientos). Los movimientos ascendentes del terreno, asimismo, desempeñan un papel trascendental en la formación de cavernas en la Sierra de los Órganos, lo que añade singularidad a estos mogotes.

Formación de los mogotes. Es el resultado de procesos internos y externos. Los internos ocurren dentro de los macizos de rocas calizas, incluyendo la disolución de las rocas, la erosión y los desplomes de cavernas. Los externos afectan la superficie exterior de las zonas montañosas, y comprenden la erosión, la corrosión, los derrumbes y deslizamientos. Los procesos internos corroen las montañas abriendo oquedades en su interior, mientras que los externos reducen las dimensiones de las elevaciones al desprenderse porciones de sus laderas. A continuación se examinan estos procesos en mayor detalle.

Derrumbes y deslizamientos. La delimitación de los mogotes como elevaciones de paredes verticales, está determinada también por la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos. En todas las montañas tienen lugar tales procesos, que contribuyen a disminuir su altura y a reducir sus dimensiones. Sin embargo, en el caso de las montañas compuestas por rocas calizas, a los procesos de erosión superficial se añaden los de disolución de las rocas por las aguas, que en general aumentan la amplitud de las grietas y facilitan los derrumbes y deslizamientos. Pero como en las montañas de la Sierra de los Órganos se encuentran calizas masivas, estas facilitan

la ocurrencia de derrumbes de grandes bloques, que conducen al desmantelamiento continuado de las paredes de los mogotes. En otras palabras, los derrumbes de grandes bloques y los deslizamientos de las laderas disminuyen el perímetro de los mogotes, de manera que las paredes actuales muestran secciones que originalmente formaban parte del interior de estas montañas, como las cavernas.

En la base de las paredes de los mogotes se encuentran, a menudo, acumulaciones de fragmentos rocosos, que pueden alcanzar, desde pocos centímetros hasta varias decenas de metros.

Procesos de disolución. Entre los procesos formadores de los mogotes está la disolución de las rocas calizas por las aguas naturales, tanto las que ingresan a la sierra con los ríos, como las que provienen de las lluvias.

Cada vez que llueve, el agua se carga de CO_2 y de otros compuestos orgánicos, tanto al pasar por la atmósfera, como cuando atraviesan el suelo, y estos elementos químicos se combinan para formar ácidos orgánicos, los cuales provocan la disolución de las rocas, tanto en la superficie externa del mogote, como de su interior (Fig. 3.2).

Una característica típica de los mogotes de la Sierra de los Órganos que los diferencia de los "mogotes" en otras regiones, tiene que ver con las cavernas que presentan en su interior. Estas se han ido formando por la acción combinada de los ríos, el levantamiento del terreno y las aguas de lluvia. Las complejas interacciones entre estos factores ha inducido el desarrollo de intrincados sistemas de conductos y cavidades subterráneas, distintamente comunicadas con el exterior.

Disolución superficial. Tiene lugar por la acción de las aguas al circular sobre la superficie externa de las calizas. Cuando el agua corroe las superficies inclinadas de las paredes de los mogotes, va creando acanaladuras muy características, denominadas *karren*. El agua procedente de las lluvias o que se escurre desde las hojas de los árboles, produce un goteo, que cae directamente sobre la superficie des-

nuda de la caliza, y así se forman oquedades pequeñas, como copas, separadas por crestitas afiladas. Estas copas y crestas pueden tener, desde pocos milímetros, hasta varios centímetros de profundidad y se conocen como “diente de perro”. Asimismo, el goteo prolongado puede formar amplias piscinas, con su fondo casi horizontal, que se llenan de agua solo después de las lluvias. Estos procesos de disolución, cuando actúan en rocas con abundantes fracturas verticales, llegan a generar agujas de calizas, que alcanzan varios metros de altura, sobre cuya superficie se encuentra diente de perro y las acanaladuras antes mencionadas (Fig. 3.2).

Las aguas corrosivas de lluvia se desplazan por las grietas y planos de estratificación de las calizas, infiltrándose hacia el interior de los mogotes. En su descenso, estas aguas generan importantes procesos de corrosión vertical, que amplían las grietas y forman cavernas verticales o muy inclinadas. Esta corrosión lleva, además, a la ampliación hacia arriba (disolución invertida) de las oquedades subterráneas ya existentes, proceso que últimamente provoca derrumbes en el interior de las cuevas que llegan a crear aberturas hacia el exterior (claraboyas). Cuando estos derrumbes tienen lugar en grandes cavernas cercanas a la cima de los mogotes, pueden originarse los “hoyos de montaña”, que por su forma se asemejan a las casimbas y los agujeros azules.

Disolución horizontal. Estos procesos ocurren cuando las aguas del escurrimiento superficial circulan por ríos y arroyos hacia grietas o zonas porosas. En el ejemplo de la Sierra de los Órganos su situación geográfica determina este tipo de circulación. La sierra está limitada al norte y al sur por las Alturas de Pizarras, donde las rocas son poco permeables. En estas condiciones, las precipitaciones sobre estas alturas determinan un intenso drenaje superficial que alimenta —desde el norte y el sur— a las elevaciones de roca caliza que forman la Sierra de los Órganos. Estas aguas se resuelven en un extenso sistema fluvial que alimenta al Río Cuyaguatete, el cual desemboca en el Mar Caribe. A di-

ferencia de las Alturas de Pizarras donde los ríos forman valles amplios y profundos, en las alturas de caliza, la mayoría de las corrientes superficiales se hunden en el interior de las montañas, determinando la formación de ríos subterráneos. Estos atraviesan completamente las serranías, de modo que por un lado de la sierra entra un río o arroyo que, al otro lado, puede brotar como uno o varios arroyos, que en el interior de las montañas se forma un sistema de cavernas, en ocasiones, bastante complejo.

En las regiones donde no hay rocas calizas, como en las Alturas de Pizarras, al levantarse el terreno los cauces se van profundizando sin cambiar su curso. Sin embargo, en la Sierra de los Órganos, donde los ríos abren sus caminos subterráneos a lo largo de fracturas, al levantarse el terreno, por lo general, las aguas empiezan a infiltrarse por nuevas grietas que, al ampliarse por disolución y erosión combinadas, se transforman en cauces subterráneos distintos. De esta manera se desarrollan sucesivos sistemas de cauces subterráneos superpuestos, los más altos ya secos, el más bajo, inundado. Con el tiempo, el proceso de levantamiento de las montañas de la Sierra de los Órganos ha generado hasta cinco niveles superpuestos de cauces subterráneos. Los cauces que están activos, situados al nivel de los valles, casi siempre tienen sus paredes lisas y escasas acumulaciones cristalinas (estalactitas y formaciones parietales). Los cauces intermedios, ya secos situados por encima del anterior, se van rellenando de formaciones cristalinas (estalactitas, estalagmitas y formaciones parietales), las cuales reducen el espacio vacío cavernario. En contraste, los cauces más altos, que además son los más antiguos, presentan grandes acumulaciones de formaciones cristalinas y numerosos desplomes, que eventualmente pueden comunicar uno o dos niveles de cavernas horizontales. Con el paso del tiempo la disolución vertical y los desplomes llegan a abrir las cavernas al exterior, formando los hoyos de montaña.

Mogotes como entes vivos. Los procesos de erosión, disolución y desplome que ocurren en el inte-

rior de los mogotes, unidos a los de erosión, disolución, derrumbes y deslizamientos que suceden en sus superficies externas, pueden reducir los mogotes a simples apilamientos de bloques y, últimamente, a fragmentos de rocas mezclados con el suelo rojo de los valles. De este modo, los mogotes se comportan como un “ente vivo”, que tiene su origen, desarrollo

y desaparición. El Stonehenge viñalero (Fig. 3.2) es un modelo del proceso final del dismantelamiento y la desaparición total de los mogotes.

Fases evolutivas de los mogotes. La figura 3.3 exhibe las distintas etapas de evolución de la Sierra de los Órganos, hasta la formación, el desarrollo y la desaparición de los mogotes.

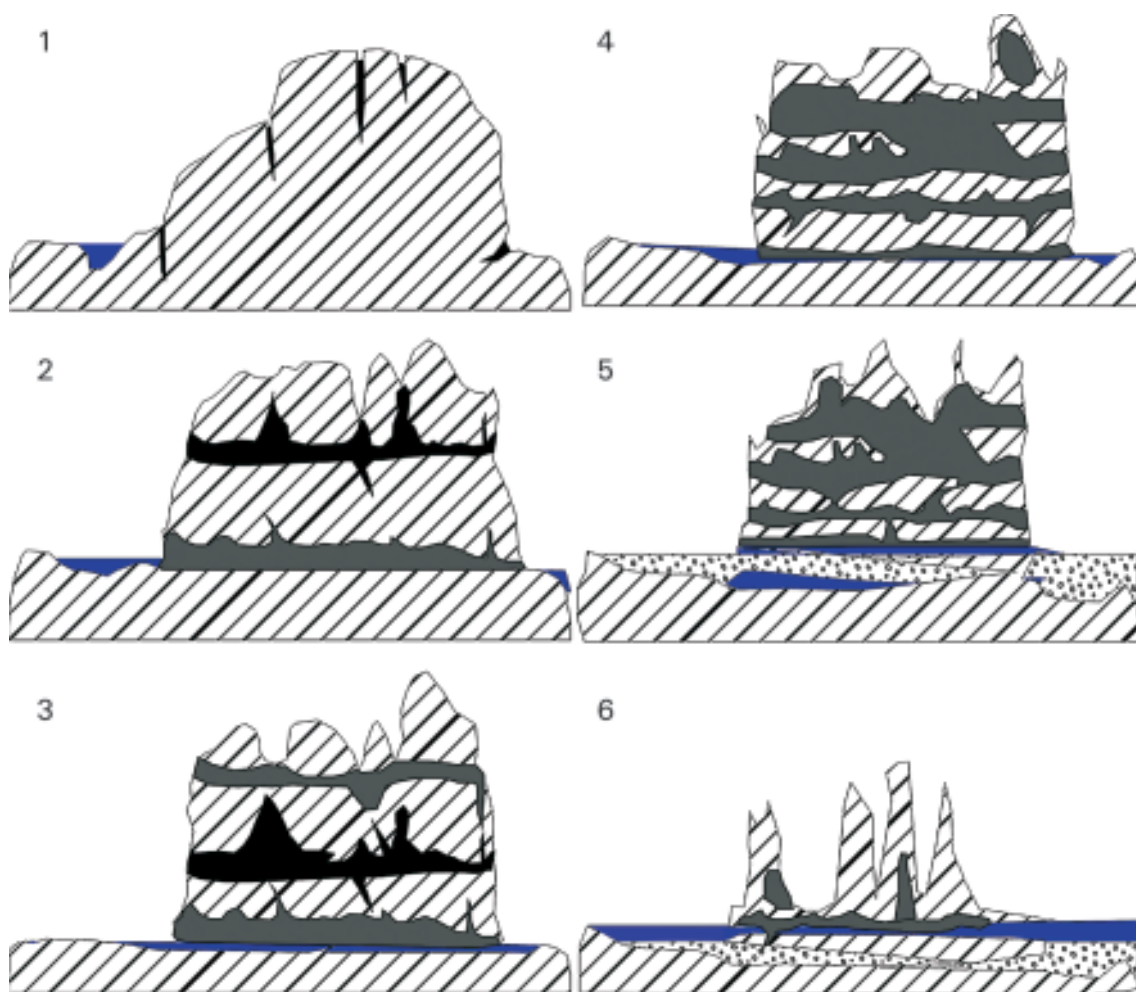


Fig. 3.3: Evolución de la formación de los mogotes de la Sierra de los Órganos. Aquí están presentes el levantamiento del terreno, las oscilaciones del nivel del mar, y la acción conjunta del agua (disolución y erosión) y la fuerza de gravedad (derrumbes y desplomes).

Terrazas marinas

La presencia de *terrazas marinas* es una característica de algunas costas rocosas cubanas, las cuales se embellecen con su presencia. Estas son como grandes escaleras de roca caliza, que se forman a medida que el mar se retira y deja expuesta una parte de la plataforma insular. En Cuba, se encuentran hasta veinte terrazas emergidas y es frecuente localizar dos o más sumergidas bajo el nivel del mar (Tabla 3.1).

TABLA 3.1

Altitud de algunas terrazas marinas de Cuba

A. Costa Norte de Matanzas

Terraza	Altitud (m)
Rayonera	25 a 51
Yucayo	15 a 33
Puerto	~16
Seboruco	~8
Submarina 1	-1
Submarina 2	-2 a -6
Submarina 3	-10 a -17
Submarina 4	-20 a -55

B. Punta de Maisí

Terraza	Altitud (m)
XIV	410-430
XIII	350-380
XII	260-290
XI	260-270 180-189
X	230-250 176-178
IX	180-210 157-165
VIII	130-150 143-147
VII	80-100 109-122
VI	40-60 81-86
V	74
IV	48-50
III	40-44
II	15-17
I	0-6

Las terrazas se forman solo en las zonas costeras donde tuvo lugar el levantamiento del terreno, por eso son testigo insustituible de esos movimientos. En aquellas zonas donde estos levantamientos son moderados, se forman pocas terrazas como ocurre en la mayor parte de la Isla. Por ejemplo, en Guanahacabibes se encuentran dos y en La Habana-Matanzas cuatro terrazas emergidas. En contraste, allí donde los movimientos son más rápidos, más vigorosos, se originan hasta catorce terrazas, como en Cabo Cruz y Punta Maisí, en Cuba oriental (Figs. 3.4 y 3.5). El hecho de que se hallen terrazas sumergidas bajo el mar, puede significar que en esos tramos de costa hubo movimientos de descenso del terreno.

La mayoría de las terrazas costeras cubanas se han formado en los últimos dos millones de años, en parte debido a las oscilaciones del nivel del mar provocadas por los cambios del clima terrestre. La figura 3.6 muestra cómo en los últimos 800 000 años hubo etapas glaciales (cuando el crecimiento de los hielos polares redujo el nivel de los océanos), seguidas por etapas interglaciales (al derretirse esos hielos y aumentar el nivel del mar). Estos desplazamientos del nivel del mar, por sí mismos, no constituyen las terrazas, pero sí en combinación con los desplazamientos tectónicos del terreno. Por ejemplo, si coincide el levantamiento del terreno con un descenso del nivel del mar, entonces, los fondos marinos se levantan a gran altura y se eleva una terraza. En cambio, si el levantamiento del nivel del mar por causas climáticas concuerda con un descenso del terreno, las terrazas existentes se hundieron bajo las aguas.

En la formación de las terrazas también participa la erosión, sobre todo en las costas rocosas. La figura 3.7 muestra el escalón de la terraza y, debajo de este, una incisión profunda. La incisión marcada con flechas amarillas coincide con el lugar donde estaba situada la superficie del mar en el pasado, y se conoce como *nicho de marea*. Allí donde el mar baña el frente de la terraza, crecen bacterias,



Fig. 3.4: Imagen satelital. Se observan los empinados escalones determinados por las numerosas terrazas marinas emergidas de Cabo Cruz, en Cuba oriental. (Tomado de *Google Earth*).

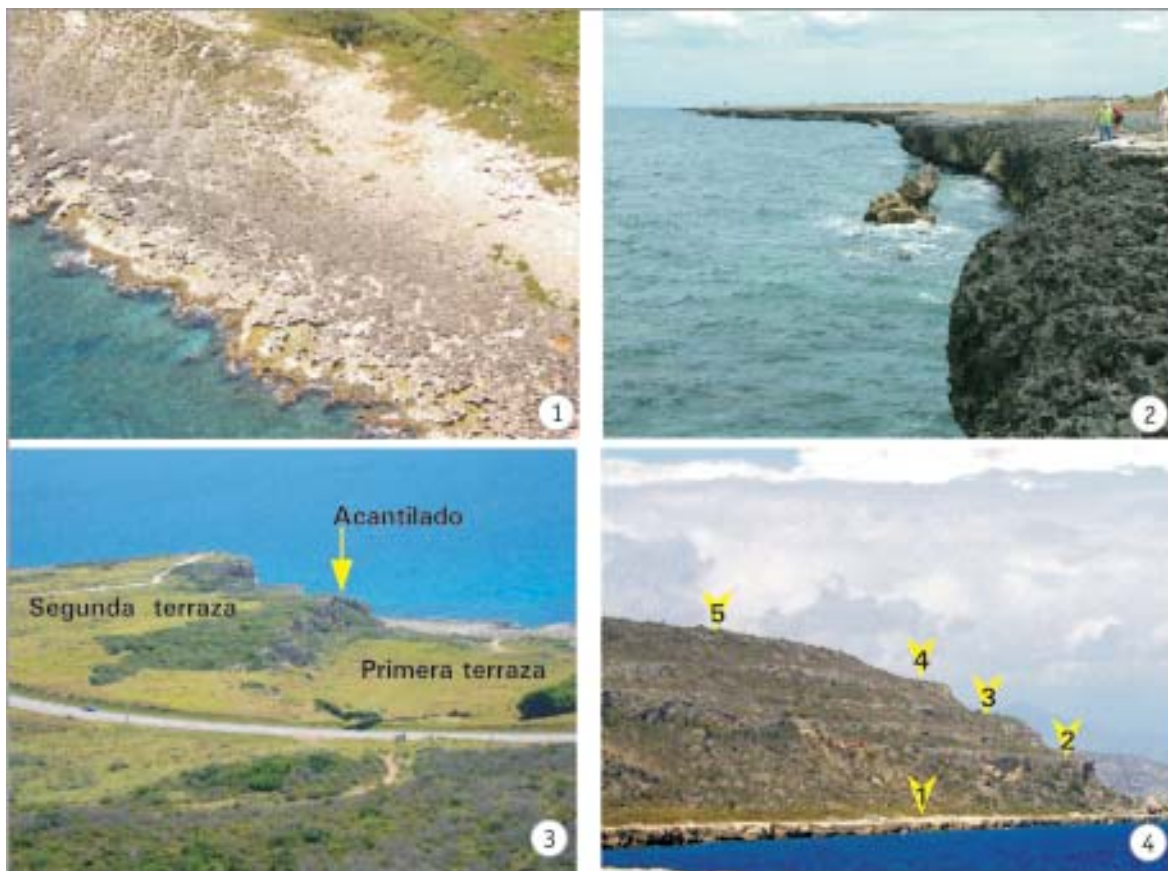


Fig. 3.5: Terrazas marinas: (1 a 3) en la costa norte de La Habana y Matanzas y (4.) en la costa suroriental de Cuba. 1. Vista aérea de la superficie de la primera terraza emergida, intensamente corroída por el agua y, lejos de la costa, una playa de tormenta (Jibacoa). 2. Segunda terraza emergida (Bahía de Matanzas). 3. Vista aérea de la primera y segunda terrazas emergidas, (cercañas de Santa Cruz del Norte). 4. Múltiples terrazas emergidas (sur de la Sierra Maestra, en el Parque Baconao).

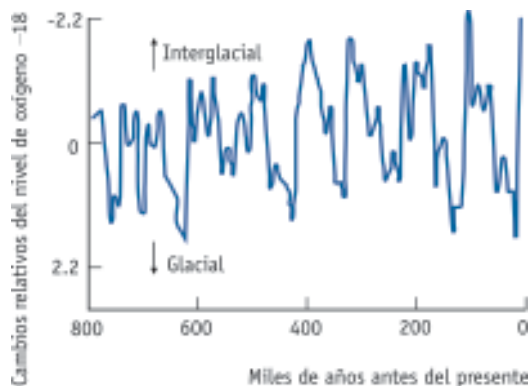


Fig. 3.6: Oscilaciones del contenido de oxígeno 18 en las conchas de foraminíferos marinos, el cual varía en dependencia de la temperatura del agua. (Adaptado de la revista *Science*).



Fig. 3.7: Aspectos de la segunda terraza emergida de la costa sur de Guanahacabibes. Las flechas indican la presencia de la solapa y el nicho erosivo originado al formarse la primera terraza, hace aproximadamente 130 000 años.

las cuales son consumidas por una variedad de animales (moluscos, erizos y crustáceos) que viven en el área intermareal, y que para alimentarse raspan la superficie de la roca. Con el tiempo llegan a formar el nicho, de manera que mientras más profundo sea este, habrá transcurrido un mayor tiempo de acción de estos animales (bioerosión). Dada la presencia de este nicho, algunas partes de las terrazas se pueden desplomar (Fig. 3.3). Sobre este tema se ampliará más adelante.

En la formación de las terrazas se combinan, como ha quedado evidenciado, distintos procesos (Fig. 3.4). Primero, se forma la futura superficie plana de la terraza bajo el nivel del mar, por el crecimiento de corales, la acumulación de arena y la erosión del oleaje. Al mismo tiempo, en la costa rocosa, la bioerosión crea los nichos de mareas en el espacio intermareal, los cuales conducen al desplome y la formación de las *escarpas* (escalones) verticales que delimitan las terrazas. En una segunda etapa, el levantamiento de la costa pro-

duce la emersión de la terraza existente y traslada la línea de costa a una nueva posición inferior, donde se inicia, otra vez, el proceso explicado, y así sucesivamente. En la eventualidad de que el nivel del mar se eleve en un período corto, no se establecerá una nueva terraza; en cambio, algunas de las terrazas antes emergidas quedarán cubiertas por el agua. Esto ocurrió en los últimos 25 000 años, a causa de un levantamiento del nivel del mar (Fig. 3.8).

Peñón del Fraile

Tal vez, los viajeros que circulan por la carretera que enlaza las ciudades de La Habana y Matanzas, por la costa norte, en las cercanías de Santa Cruz del Norte, hayan notado la presencia de una curiosa formación de roca caliza que se denomina el Peñón del Fraile (Fig. 3.9). A pesar de su escasa altura, es testigo de una historia de perseverancia, que se remonta a varios miles de años.



Fig. 3.8: Proceso de formación de las terrazas marinas. Aquí se combinan, principalmente, el levantamiento y la erosión del terreno.

Se trata de grandes agujas de piedra sólida, con las paredes verticales y la base muy irregular, a causa del frecuente desprendimiento de bloques desde las laderas. De hecho, hay varios peñones —algunos de apenas cuatro o cinco metros de altura desde la base, el más alto de doce metros, y todos yacen rodeados de bloques que sobresalen entre la planicie costera. Unos kilómetros más al este, también sobre la superficie de la primera terraza, existe un peñón pequeño. La caliza que constituye estos montículos es blanca-crema, de grano fino y muy resistente, en contraste con la que forma el relieve bajo del entorno, más porosa, típica de la terraza baja de seboruco costero.

El origen del Peñón del Fraile es toda una lección de persistencia y tenacidad ante los agentes modificadores del relieve, tales como la lluvia y las salpicaduras de agua salada (*spray*) que disuelven la roca, y la acción de la gravedad, que abre las grietas y provoca el desplome de bloques desde las paredes verticales que conforman las laderas. Estos agentes han venido labrando las rocas de la segunda terraza, en parte, desaparecida, de la cual este peñón queda como testigo singular.

Si el lector se traslada imaginariamente algunos miles de años atrás, entonces notaría cómo toda la llanura costera de Santa Cruz del Norte era mucho más alta y formaba parte de una terraza, cuya superficie plana estaba situada a quince metros de altura. Un ejemplo de esto es la cercana región de Boca de Jaruco, donde la terraza alta constituye los farallones de La Jíjira y la terraza baja, de seboruco costero, se levanta apenas dos o tres metros sobre el nivel del mar (Fig. 3.5). En Boca de Jaruco, se observa muy bien cómo, con frecuencia, se desprenden partes de la pared de la terraza alta, haciendo que la pared rocosa (que le sirve de límite) se desplace tierra adentro. Lo mismo ocurrió en Santa Cruz del Norte, pero, entretanto este retroceso de la pared tenía lugar, una porción de caliza más resistente quedó rezagada, sin ser destruida, cerca de la costa, y esa resistencia le permitió crear el Peñón del Fraile.

Por su belleza y singularidad, el Peñón del Fraile debería considerarse un “monumento natural local”, y ser protegido como corresponde a esta categoría del Patrimonio Nacional.

Altar de la Virgen

En el curso del río Majimiana, afluente del San Miguel, que corre por las montañas de la provincia de Guantánamo, se encuentra una formación rocosa, aparentemente natural, pero que constituye una verdadera curiosidad. Se trata de dos grandes lajas de caliza blanca de grano fino, dispuestas de tal modo que parecen un altar (Fig. 3.10). La mayor



Fig. 3.9: Peñón del Fraile, grupo de picachos calizos remanentes de la erosión de la segunda terraza emergida (Santa Cruz del Norte, La Habana).

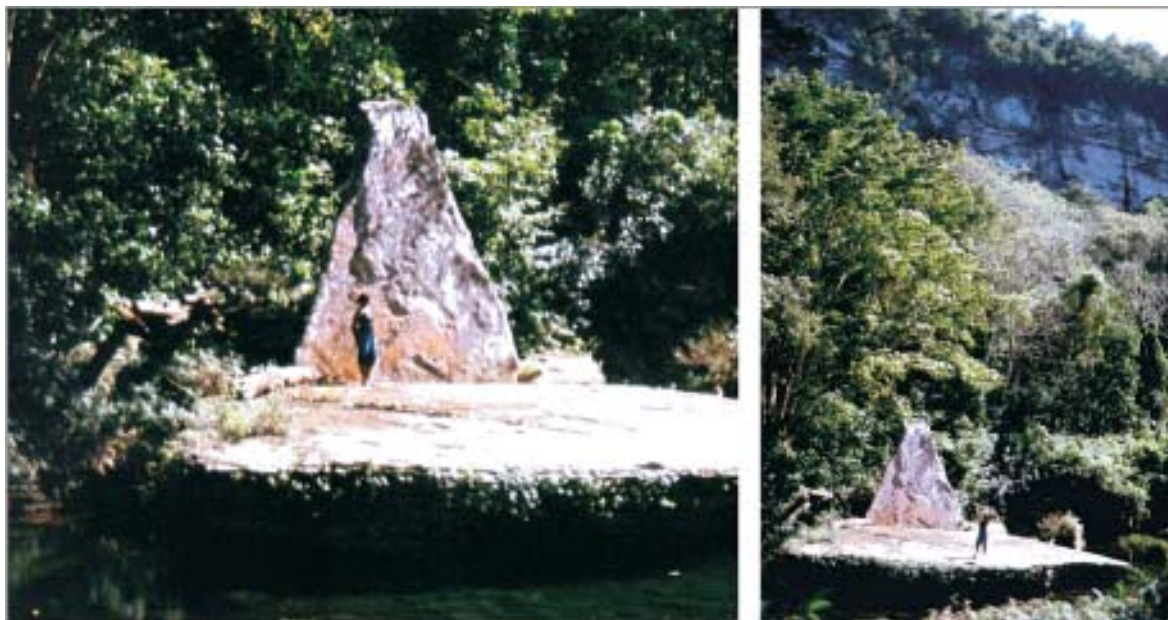


Fig. 3.10: Aspectos del Altar de la Virgen, curiosa formación rocosa en el cauce del río Majimiana, en Guantánamo.

de estas losas reposa sobre el lecho por donde circula el río y tiene más de un metro de grosor; la otra yace en posición vertical, justo al lado de la anterior, y tiene forma triangular. No hay evidencias de que esta sea obra humana con fines religiosos, pero existe una leyenda que apunta que, en el pasado, aquí se alojaba la imagen de una virgen. Por ello, se le conoce como el Altar de la Virgen.

Es muy probable que esta estructura se haya formado a causa del deslizamiento de varias lajas desde la pared que conforma una de las márgenes del río, la cual está constituida por capas de calizas como las del “altar”. Por lo general, estas losas caen y se fracturan en pedazos, y se las lleva el río, pero pudieron ocurrir dos eventos inusuales. En una ocasión, una gruesa laja pudo desprenderse y deslizarse con tal fuerza que llegó hasta el cauce del río. En otra ocasión, otra laja menor cayó como parte de una avalancha, llegó hasta el cauce y allí quedó ajustada a la anterior en posición vertical. Después, las crecidas del río pulie-

ron y blanquearon las rocas confiriéndoles su aspecto actual. No obstante, no se puede dejar de admitir que dada la rareza de esta estructura, tal vez algunas personas pudieran haber colocado, no sin gran esfuerzo, la roca vertical triangular, transportándola desde algún lugar cercano.

En cualquier caso, esta formación rocosa constituye una de las más inusuales curiosidades del paisaje cubano, como se puede observar en la foto, y debería obtener la categoría de “monumento natural local”.

Mineral más antiguo de Cuba

La geocronología es la ciencia que se ocupa de establecer la *antigüedad* de las rocas y los minerales, mediante diversos métodos basados en la propiedad que tienen los elementos radioactivos de desintegrarse espontáneamente.

Ello es posible porque se ha podido establecer que los elementos radioactivos se descomponen a una velocidad constante, la cual se expresa por medio

de la constante desintegración o “vida media” del elemento. La vida media es el tiempo (t) que debe transcurrir para que una masa inicial (m_i) del elemento se reduzca a la mitad ($1/2 m_i$) de la masa inicial. En este proceso, los elementos o isótopos madres emiten partículas elementales y se convierten en otros elementos o isótopos hijos. En la tabla 3.2 se expone la vida media de los isótopos más utilizados en geocronología absoluta.

A medida que el tiempo transcurre la masa o contenido del isótopo o elemento hijo aumentará con respecto a la masa o contenido del isótopo o elemento madre en la roca o mineral. En este proceso se acrecienta la relación del isótopo hijo respecto del isótopo madre (el valor de la razón *isótopo hijo/isótopo madre* aumenta con el tiempo). Por ello, si se logra establecer la masa de ambos isótopos en un mineral o roca, se puede calcular el tiempo transcurrido desde que se formó el mineral o roca, es decir, su antigüedad.

TABLA 3.2

Vida media de algunos elementos e isótopos radioactivos

Isótopo madre	Isótopo hijo	Vida media
Uranio 238	Plomo 206	4 510 Millones de años
Uranio 235	Plomo 207	713 “
Torio 232	Plomo 208	13 900 “
Potasio 40	Argón 40	1 300 “
Rubidio 87	Estroncio 87	47 000 “
Carbono 14	Nitrógeno 14	5 570 años

En la práctica, se emplean distintos isótopos o elementos para fechar las rocas, de acuerdo con dos criterios. Primero, que estén presentes en la roca o mineral que se debe procesar, y segundo, que la vida media de este isótopo o elemento sea adecuada para resolver el caso concreto. Por ejemplo, para determinar la edad en rocas muy antiguas se utilizan rubidio (Rb), samario (Sm), uranio (U), renio (Re) y hafnio (Hf), puesto que tienen grandes constantes de desintegración. Los isótopos de potasio

(K) y de argón (Ar) son buenos para el fechado de rocas más jóvenes, al ser más corta la vida media de estos elementos. Por último, para rocas muy jóvenes (menores de 50 000 años) se usan los isótopos del carbono (C).

Para fecharla, una porción de roca o mineral se somete a análisis de laboratorio utilizando equipos extremadamente sofisticados (espectrómetros de masa, de absorción atómica, espectrómetros láser, etc.), y se determinan la masa del isótopo hijo y la del isótopo madre que nos interesa. Con estos datos se establece la proporción isótopo hijo/isótopo madre y, de acuerdo con la constante de desintegración, se calcula la antigüedad del mineral o roca estudiados.

El circón (Zr) es un mineral muy resistente y de gran estabilidad, puesto que cristaliza a más de 1 000 grados celsius de temperatura. Por ello no se descompone, a menos que vuelva a estar sometido a tales temperaturas. En Cuba se han encontrado, en las arenas de la Formación San Cayetano de Pinar del Río, cristales de circón con 2 500 millones de años de antigüedad, los cuales se acumularon en Pangea, cuando no existían ni el Caribe ni Cuba. De algún modo, ciertos granos de este mineral llegaron a esas rocas sedimentarias, provenientes, probablemente, de la actual América del Sur (Escudo de Guyana). Esta es una de las curiosidades de la geología cubana (Fig. 3.11).

Perezoso cubano gigante

Los *perezosos* son mamíferos, tanto arbóreos, como terrestres, que se alimentan principalmente de vegetales. Ellos se originaron en la América del Sur y se dispersaron hacia Centroamérica, la América del Norte y las Antillas, hasta Cuba e Isla de la Juventud. En los continentes alcanzaron, durante el Cuaternario, proporciones gigantescas, probablemente como un mecanismo para defenderse de los depredadores, entre los que se encontraban los tigres diente de sable.



Fig. 3.11 Fotografía al microscopio. Se observan varios cristales de circón de menos de 1 mm de largo, con las marcas de fusión provocadas por el rayo de luz iónica emitido por el equipo SHRIMP (microanalizador iónico sensible de alta resolución). (Cortesía de Yamirka Rojas Agramonte).

Sus representantes actuales en América del Sur son dos especies de animalitos arborícolas con colas gruesas, peludos, armados con garras largas y fuertes que les sirven como defensa y para andar por la parte baja de las ramas de los árboles sin caerse. Son extremadamente lentos y bajan a tierra solo una vez al día, para defecar o para trasladarse a otro árbol desde abajo. Cuando se inundan los bosques donde habitan, son capaces de nadar desde el tronco de un árbol hasta otro cercano, a pesar de no ser animales acuáticos. Sus parientes actuales más cercanos son el armadillo y el oso hormiguero.

En las islas de las Antillas Mayores habitaron diversas especies de perezosos, al menos, desde hace

33 millones de años, pues restos fósiles con esta antigüedad han aparecido en Puerto Rico. Fósiles de perezoso se han encontrado también en capas de 14 a 16 millones de años de antigüedad, en el canal que desagua la Presa Zaza (Cuba central), pero son mucho más abundantes en las cavernas y en los depósitos de asfalto de San Felipe (Martí, Matanzas), donde sus restos, generalmente tienen apenas unos miles de años de antigüedad.

En las islas del Caribe, todos los perezosos se extinguieron hace alrededor de cuatro mil años de acuerdo con los fechados de sus huesos mediante técnicas radioactivas que utilizan la descomposición del carbono. Ello demuestra que convivieron al menos, mil años con los humanos, quienes llegaron a estas tierras hace por lo menos cinco mil años. Lo anterior sugiere que el hombre no fue la única causa de su desaparición, a la que coadyuvieron los cambios climáticos, de la vegetación, y las modificaciones de la geografía de las islas.

La mayor de todas las especies de perezosos antillanos conocidas, y el mayor de los animales terrestres de las Antillas, fue el *Megalocnus rodens* (Fig. 3.12), cuyos restos fueron descubiertos, por vez primera, en los Baños de Ciego Montero, actual provincia de Cienfuegos. Después se han encontrado en muchas otras localidades cubanas y en la Isla de la Juventud. Este era un mamífero que se alimentaba de retoños, raíces y ramas frescas de arbustos, como sus congéneres arborícolas actuales. Su talla era la de un oso pardo o de un ternero, provisto de una cola gruesa, con pelambre probablemente denso, de color amarillento a carmelitoso. Poseía largas y potentes garras en las cuatro extremidades, y sus falanges estaban deformadas y algo curvadas hacia adentro, lo cual sugiere que su andar fuera esencialmente lento y torpe, como otros miembros de su familia. Dadas su talla y las características del esqueleto, es probable que no trepase a los árboles.

La imagen del esqueleto mostrada se basa en un ejemplar colectado por don Carlos de la Torre y Huerta, a principios del siglo xx, que se expone en el

Museo Americano de Historia Natural de Nueva York. Otro ejemplar armado, en posición erguida, se encuentra en las colecciones del Museo Nacional de Historia Natural de Cuba. La reconstrucción del aspecto externo del animal es hipotética, sobre la base de las características de sus congéneres suramericanos actuales y el estudio de numerosos esqueletos.

Fósiles más antiguos de Cuba

Un canto rodado o “china pelona” hallado por Andrej Pszczolkowski en rocas sedimentarias jurási-

cas de la Sierra del Rosario, contenía los *restos fósiles* de varios microorganismos unicelulares marinos, denominados fusulínidos por la apariencia fusiforme de sus conchas. Estos organismos, del grupo de los foraminíferos, vivieron en los mares tropicales poco profundos durante la Era Paleozoica, hace 250 a 280 millones de años. Su hallazgo indica que algún río del Jurásico transportó estos cantos rodados, desde lo que son hoy día, México o Belice, hasta depositarse formando rocas sedimentarias que, posteriormente, vinieron a constituir el substrato de Cuba (Fig. 3.13).

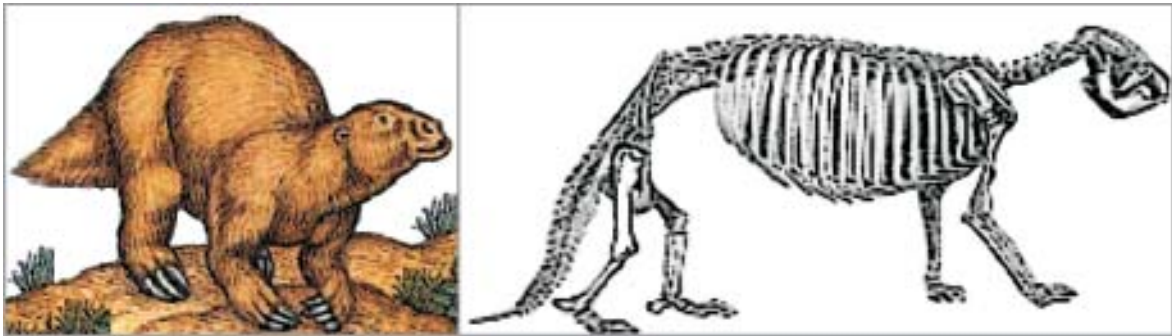
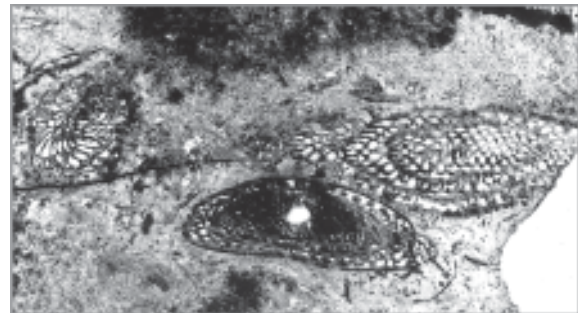


Fig. 3.12: Reconstrucción de un esqueleto y posible aspecto, en vida, del perezoso cubano gigante (*Megalocnus rodens* Leidy), extinto hace más de 4 000 años, el cual convivió con los aborígenes cubanos. (Cortesía de R.D.E. MacPhee y Oscar Arredondo).

Fig. 3.13: Fotografía al microscopio biológico de la sección transversal de conchas de foraminíferos marinos del Paleozoico superior (250 millones de años). Se observa la complicada estructura interna de estas conchas, a pesar de no superar unos milímetros de longitud. (Cortesía de Andrej Pszczolkowski).



Tectónica de placas

Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent

La Tierra tiene una estructura de capas concéntricas bastante bien definida, que constituyen lo que se puede conceptualizar como los distintos componentes del gran complejo industrial que es nuestro planeta, e influyen directamente en los procesos geológicos que son observables en nuestro entorno, porque se manifiestan sobre todo en la litosfera y la corteza terrestre (Fig. 4.1).

Ahora bien, al examinar la superficie terrestre con el auxilio de satélites especializados y mediciones geofísicas, se puede observar que la litosfera está dividida en una serie de placas o losas de hasta 100 km de espesor, que se conocen como *placas tectónicas* (Fig. 4.2). Tales placas se pueden desplazar lateralmente, puesto que, en la profundidad, deslizan sobre una capa viscosa denominada astenosfera. Se ha podido establecer que estas presentan distintos tipos de límites laterales, de acuerdo con los procesos que ocurren a lo largo de ellos. De este modo, se distinguen límites o márgenes deslizantes, divergentes y convergentes. En todos estos márgenes (y en el interior de las placas) ocurren terremotos y erupciones volcánicas, en especial, en

los convergentes y divergentes. Cada una de las partes componentes de las placas, tiene su propia composición y expresión geográfica en la superficie terrestre como refleja la figura 4.2. Los colores azules representan los océanos, y los verdes y amarillos-carmelitas los continentes. En la visión tridimensional del globo terrestre (Fig. 4.1), se destaca la cordillera del centro del Atlántico, que constituye un límite divergente. También es notable que esta cordillera esté cortada por una serie de lineamientos, de este a oeste, que son fallas, como las que definen los límites deslizantes. Los márgenes convergentes están situados colindando con cadenas de islas volcánicas. Cuando la expresión geográfica de las placas y sus límites desaparecen, como resultado de la evolución geológica, quedan las rocas formadas en esos límites como testigos de aquellas geografías, y es tarea de la geología descubrir las cicatrices de aquellas placas y reconstruirlas. De esta manera se ha llegado a establecer que, en el pasado, hubo placas distintas a las actuales, que parcialmente se han reciclado en el manto.

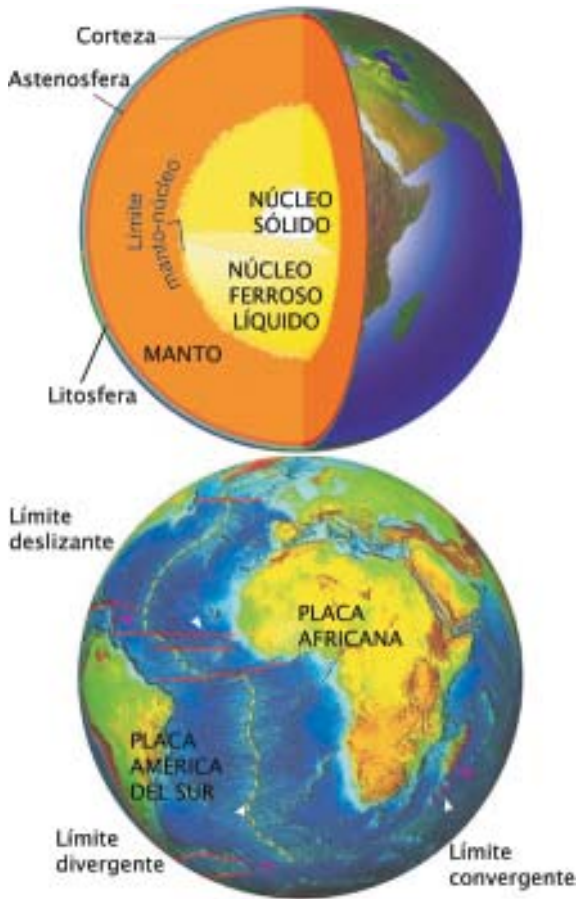


Fig. 4.1: Globos terrestres. El corte profundo permite observar los componentes del interior de la Tierra. Aunque los principales procesos que atañen a la sociedad, ocurren en la superficie, hoy día, se sabe que pueden tener su origen, incluso, en el núcleo interior. En la superficie se ha resaltado algunos límites entre placas, a manera de ejemplo. (Adaptado de *Understanding Earth*).

Las placas tectónicas tienen un espesor promedio de 100 km y están compuestas por una variedad de rocas que se extienden, desde la superficie de la tierra hasta el manto superior (Figs. 4.1 y 4.2). Ahora bien, si se examina en detalle cualquier placa, es evidente que entre sus límites hay continentes y océanos, dicho en otras palabras, una misma placa puede incluir partes de continentes y los par-

tes de océanos (Fig. 4.2). Esto se puede afirmar porque los continentes y océanos no solo se distinguen por su geografía, por su expresión superficial, sino que están constituidos por distintos conjuntos de rocas (Fig. 4.3).

Las cortezas continentales se caracterizan por presentar rocas cuyas antigüedades pueden ser superiores a 4 000 millones de años, en tanto que las cortezas de los océanos actuales no tienen más de 160 millones de años. Esto se debe a que las cortezas antiguas fueron recicladas al hundirse en el manto o que están desmanteladas formando parte de sistemas montañosos en los continentes, e islas como Cuba. Otra diferencia entre estas cortezas radica en su composición pues las continentales están compuestas por rocas muy ricas en silicio y aluminio como los granitos, los gneiss y los migmatitas, y presentan grandes espesores de rocas sedimentarias, ricas en cuarzo. Las cortezas oceánicas son mucho más densas, pues están formadas por rocas ricas en hierro y magnesio como las dunitas, las peridotitas, los gabros y los basaltos con espesores menores de rocas sedimentarias. También se diferencian por su origen. Las oceánicas se cristalizan a partir del magma proveniente del manto superior. Las continentales se constituyen a partir de un núcleo central (escudos arcaicos), al que se le agregan cinturones concéntricos de rocas plegadas, de densidad más bien baja. Como reflejo de estos procesos, las cortezas oceánicas apenas alcanzan una decena de kilómetros de espesor, en tanto que las continentales llegan a tener 70 km y más (Fig. 4.3). Por ello, volviendo al tema de la composición de las placas tectónicas, hay que tomar en cuenta que entre sus límites se encuentran sectores de corteza oceánica, de corteza continental, y con características intermedias, lo cual significa que las placas presentan una constitución extremadamente compleja (Fig. 4.2).

Funcionamiento de las placas. Las placas se desplazan lateralmente y se reciclan en el interior de la Tierra. En este proceso se producen cambios en la composición del manto y la corteza terrestre, de los

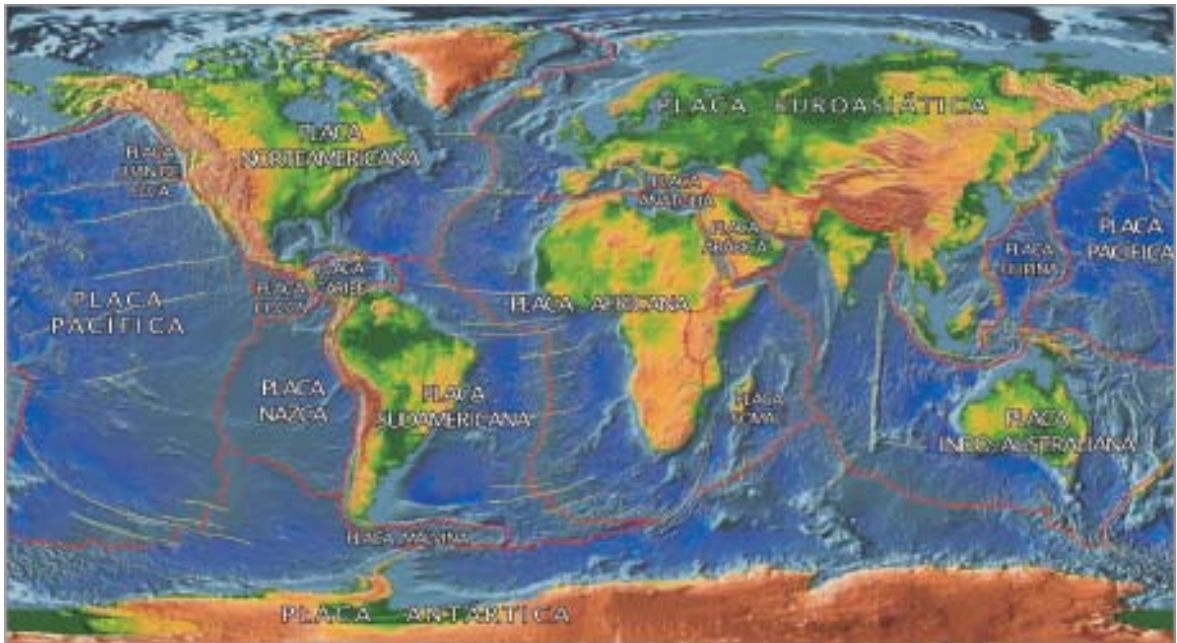


Fig. 4.2: Superficie terrestre y principales placas tectónicas, que son enormes losas rocosas, relativamente rígidas, con un espesor promedio de 100 km. (Adaptado de *Understanding Earth*).



Fig. 4.3: Perfil simplificado de la porción superior del interior de la tierra. Se observa, las diferencias de espesor entre las cortezas oceánica y continental. Además, estas cortezas se distinguen por su composición y antigüedad. (Adaptado de *Understanding Earth*).

océanos y la atmósfera, y de la biosfera. También ocurren terremotos, erupciones volcánicas, levantamientos y hundimientos de terrenos, y otros procesos que modifican a cada momento el paisaje. Por ello, la geografía cambia constantemente en la medida que las placas chocan unas con otras e interactúan de muy diversas maneras.

Estas interacciones entre placas se manifiestan, en particular, a lo largo de sus límites que pueden ser divergentes, convergentes y deslizantes. En los límites divergentes, las placas se separan una de la otra al formarse nueva corteza oceánica. En los límites convergentes, las placas colisionan frontalmente, y para acomodar el espacio, una de estas se hunde en el manto donde se recicla. En estas condiciones, para que las placas se muevan, se desarrollan límites deslizantes, donde una placa se desplaza al lado de la otra. Visto de conjunto, este proceso es como una máquina circulatoria, que provoca el reciclaje de la litosfera en el manto.

Límites divergentes. Los límites divergentes (Fig. 4.4) entre placas se encuentran tanto en el interior de los continentes, como en los océanos. En ellos los magmas que ascienden desde las profundidades del manto dan lugar a la formación de nueva corteza oceánica, constituida por rocas ricas en hierro y magnesio, denominadas máficas (básicas) y ultramáficas (ultrabásicas). Estas cortezas nuevas son muy calientes y poco densas, pero con el tiempo, mientras se van alejando de la zona donde se formaron, se enfrían, se hacen más pesadas y se hunden más, creando una pendiente del fondo marino desde las cordilleras hacia los fondos abisales. En las cordilleras oceánicas ocurren terremotos, y se producen frecuentes erupciones de lava y fumarolas. En contraste, los límites divergentes en los continentes se expresan como una serie de valles profundos, que no son el resultado de la erosión, sino del descenso del terreno a lo largo de las llamadas *fosas continentales*. De hecho, este representa un primer estadio del desarrollo de los límites divergentes.

Límites convergentes. Los límites convergentes (Fig. 4.5) se desarrollan donde dos placas convergen

frontal u oblicuamente, de manera que una se hunde debajo de la otra. Esto ocurre porque una de las placas se ha enfriado lo bastante como para tener una alta densidad, y se hunde por su peso en el manto. Imagine una losa de 100 km de espesor descendiendo en el interior del manto terrestre. Este proceso genera su propia sinergia, pues el manto superior es viscoso, de modo que se “traga” la placa, la cual desciende hasta el límite externo del núcleo, en algunos cientos de millones de años. En estas condiciones, se despliegan complejos procesos en el interior de la tierra que, entre otros productos, conducen a la formación de fundidos magmáticos, que alimentan los volcanes o cristalizan en la profundidad de las cadenas de islas volcánicas. De esta forma se originan las rocas efusivas y las intrusivas, ricas en silicio y aluminio (Fig. 2.5).

En los límites convergentes situados en los océanos se reconocen algunos elementos geográficos tales como la fosa oceánica, las islas no volcánicas y la cuenca de antearco, las islas volcánicas —que, casi siempre, trazan un arco convexo hacia el mar— y la cuenca detrás del arco (retroarco). Estos elementos geográficos tienen un sustrato constituido por conjuntos de rocas característicos, que permiten identificarlos cuando su expresión geográfica ha desaparecido. La fosa oceánica es la sutura donde una placa se hunde por su peso y se desliza debajo de la otra, dicho en otras palabras, es la expresión superficial de la zona de subducción. Bajo la cuenca frontal y las islas no volcánicas hay rocas oceánicas, volcanes de lodo, escasos mantos de basalto y rocas sedimentarias muy deformadas (en parte, derivadas de la erosión de las islas volcánicas emergidas, en parte, amalgamadas en la superficie a partir de la placa que desciende). Suponga que esta placa descendente tiene en su superficie una capa de sedimentos húmedos poco consolidados, que no pueden penetrar por la sutura de subducción. Entonces, son raspados de la superficie de la placa y acumulados en el frente de la placa superior, para formar una amalgama rocosa, denominada “*prisma de acreción*” (Fig. 4.5).

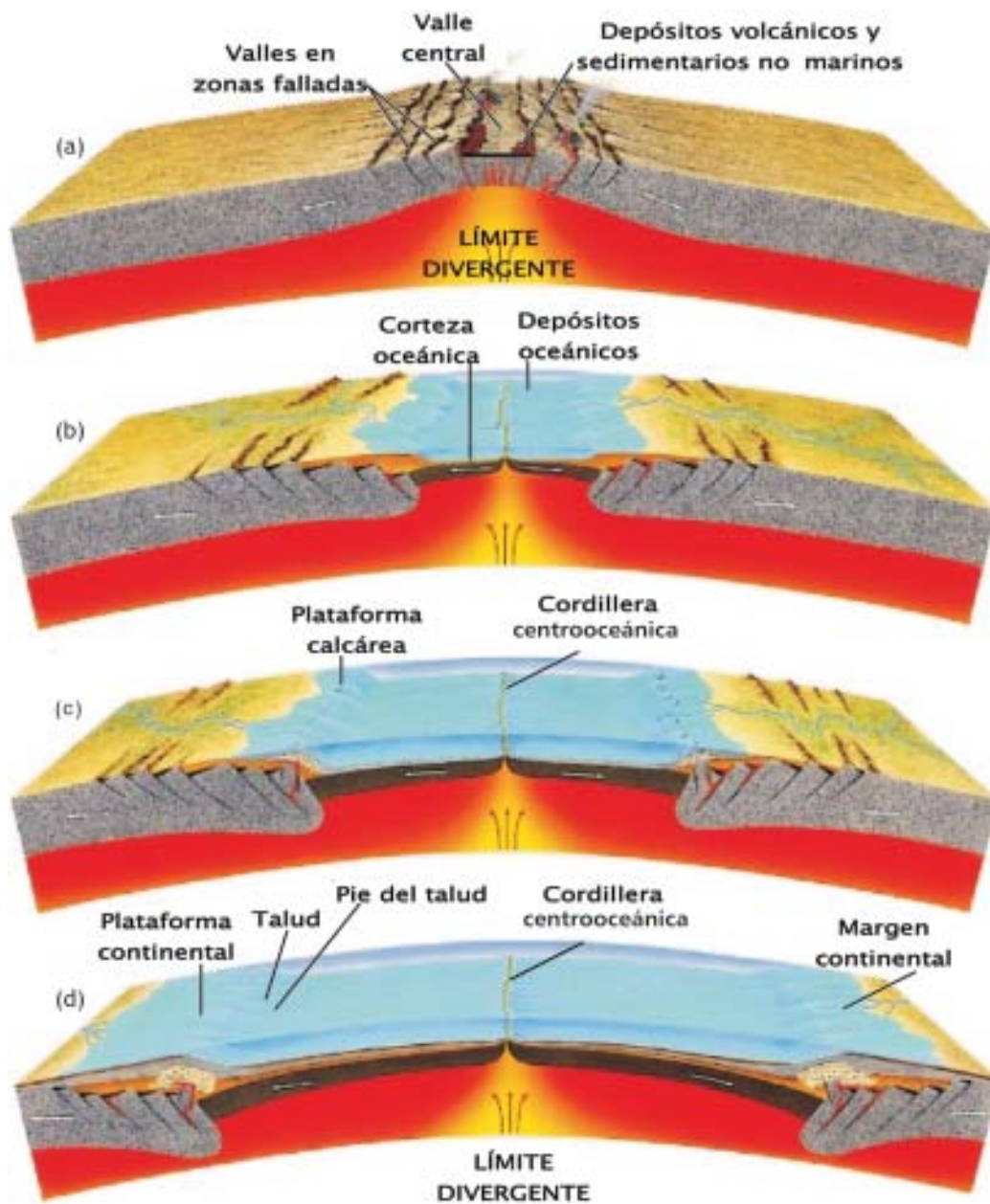


Fig. 4.4: Se aprecia el proceso de ruptura de una placa continental (gris) y la formación de corteza oceánica (negra), a partir de una fuente de calor (amarillo) en el interior de la Tierra (rojo). Se observan las formas del relieve superficial y submarino asociadas a estos procesos. (Adaptado de *Understanding Earth*).

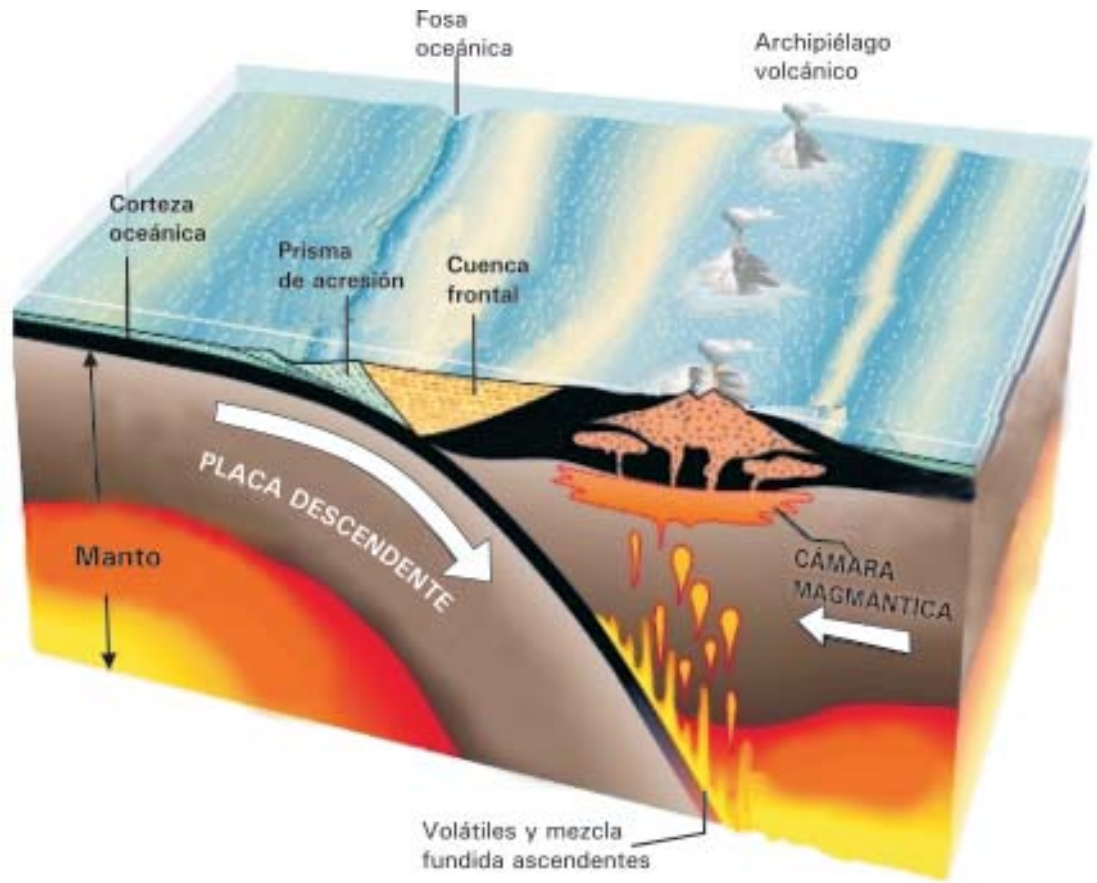


Fig. 4.5: Bloque-diagrama de un límite convergente entre dos placas. Aquí se muestran los distintos procesos que ocurren en la profundidad y cómo se manifiestan en la superficie terrestre. (Adaptado de *Understanding Earth*).

Sobre la placa superior hay otro elemento destacado en el relieve que son las islas volcánicas, donde se acumulan rocas sedimentarias junto con ígneas efusivas y plutónicas, y, en niveles más profundos, se desarrollan rocas metamórficas de alta temperatura y metasomáticas, ricas en nidos de minerales. Al otro lado del archipiélago de islas volcánicas se encuentran las cuencas detrás del arco (retroarco) o mares marginales, donde se forman rocas basálticas y se acumulan rocas sedimentarias. Ejemplos de este tipo de sistemas geólogo-geográficos son los archipiélagos de las Antillas Menores, de las Malvinas, y de las Marianas (Figs. 4.1 y 4.2).

Cuando un límite convergente está situado entre una placa oceánica y una continental, en el borde del continente se forma la fosa oceánica (o sutura de subducción), le sigue hacia el continente la cuenca de antearco, que puede coincidir con el talud continental, y después se localizan una serie de volcanes, situados a 150 o 200 km del eje de la fosa oceánica, a lo largo del margen continental. En ocasiones, por detrás de las montañas volcánicas se abren depresiones y valles profundos hacia donde drenan muchos ríos, acumulando potentes espesores de rocas sedimentarias: las cuencas de

retroarco. Un ejemplo de este tipo de margen o límite entre placas se encuentra actualmente entre el Océano Pacífico y Suramérica o Centroamérica, donde los terremotos y volcanes de la cordillera de los Andes son el reflejo de los procesos descritos.

Si el límite convergente coincide con dos placas con corteza continental, el choque frontal entre ambos continentes provoca una situación geográfica y geológica algo distinta. En estas condiciones se forman sistemas montañosos muy vigorosos (Himalaya, Pamir y Tian Shan) donde, rara vez hay actividad volcánica, pero con frecuencia ocurren terremotos de gran intensidad.

Límites deslizantes. Los límites deslizantes (Fig. 4.6) permiten que una placa se desplace junto a otra. A lo largo de estos límites se encuentra, un valle o fosa profunda, tanto en los océanos como en el interior de los continentes. La fricción que se genera a lo largo de estas fallas enormes provoca frecuentes terremotos y erupciones volcánicas, cuyos magmas son ricos en álcalis. Las fallas deslizantes son muy comunes en los fondos oceánicos, puesto que desplazan lateralmente las cordilleras sumergidas (Fig. 4.1).

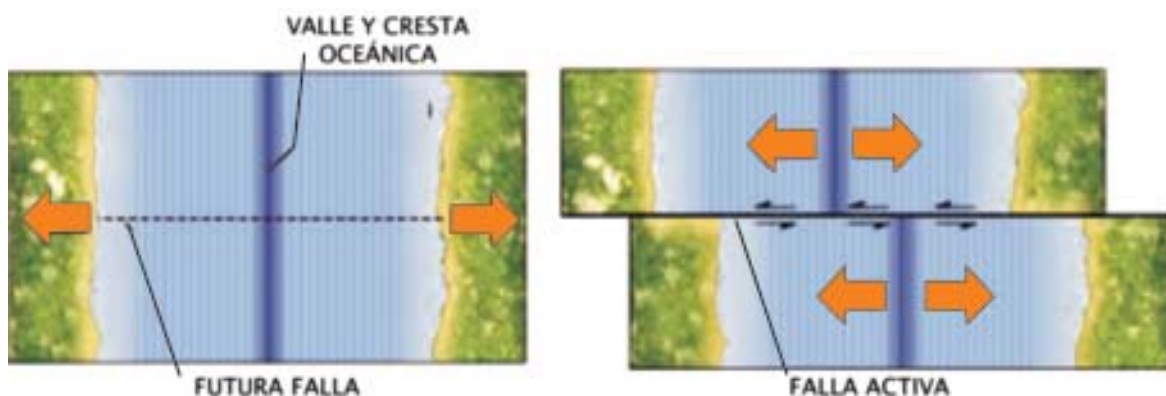


Fig. 4.6: Límite deslizante desplazando a un límite divergente. A la izquierda, justo antes del movimiento; a la derecha, después que ha comenzado el desplazamiento lateral del valle y la cresta oceánica. (Adaptado de *Understanding Earth*).

Límites de la placa del Caribe

En el mapa (Fig. 4.7) se pueden observar los límites actuales de la placa del Caribe. Ha de notarse que Cuba pertenece desde hace 40 millones de años a la placa Norteamericana, y que Cuba oriental es una microplaca con sus propias características. El único límite divergente en esta región está situado en la trinchera de Caimán-Bartlett, al suroeste de islas Caimán, donde se segrega la corteza oceánica, que constituye el sustrato de la trinchera o fosa de Caimán desde hace 45 millones de años. La figura 4.8 muestra una imagen tridimensional de la trinchera, es un buen ejemplo de límite deslizante, puesto que

estos, casi siempre, coinciden con grandes fosas, tanto en los continentes, como en los océanos.

Este límite deslizante, por el norte, comienza en Guatemala, sigue por la trinchera Caimán-Bartlett, pasando al sur de Cuba oriental (Figs 4.7 y 4.8), dobla en el Paso de los Vientos y continúa en la cordillera Septentrional de La Española, para extenderse hasta la trinchera o fosa de Puerto Rico. Otro límite deslizante de la placa del Caribe —en parte, combinado con un límite convergente en proceso de desarrollo— está situado por el sur de la placa, entre Panamá, la península de Goajira, y a lo largo de la costa de Venezuela hasta llegar a Trinidad.



Fig. 4.7: Mar Caribe. Aquí se destacan las placas y sus límites. Las semisaetas muestran el estilo del desplazamiento de sus límites deslizantes.

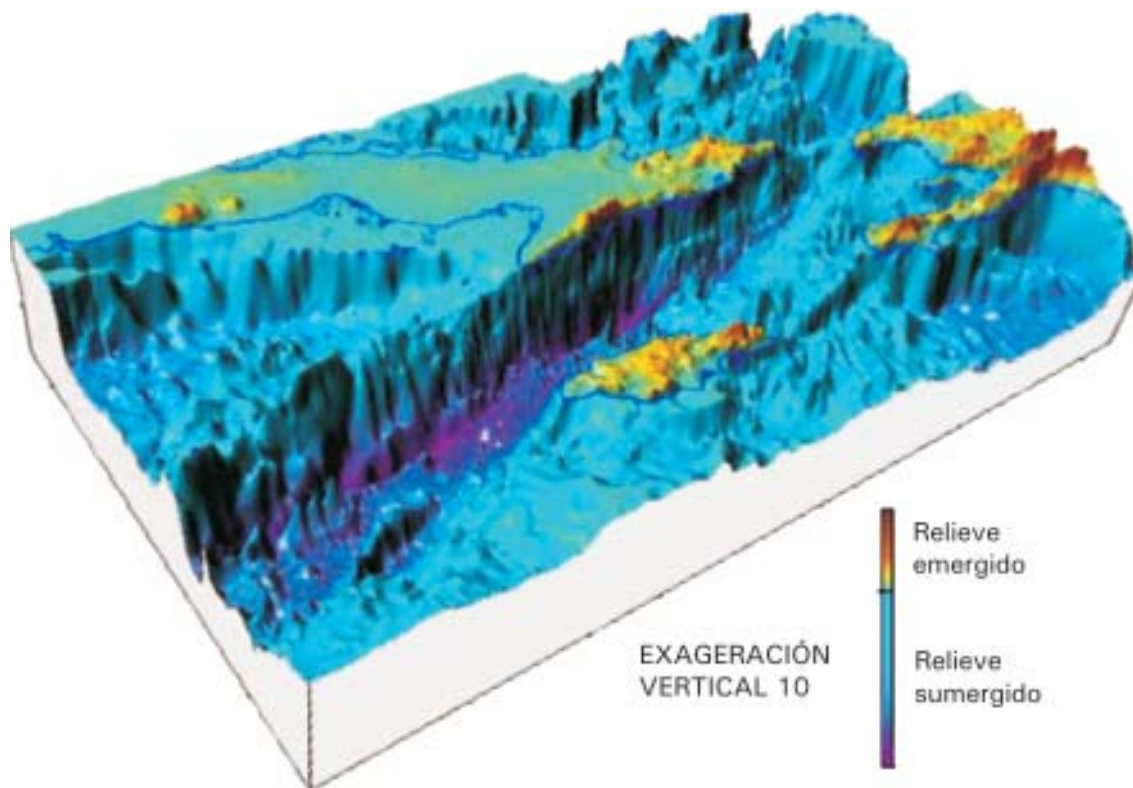


Fig. 4.8: Maqueta tridimensional de Cuba centro-oriental y la fosa de Caimán-Bartlett. (Cortesía de Eric Escobar, CENAIIS).

El Caribe presenta dos límites convergentes. Uno se encuentra desde Trinidad hasta Islas Vírgenes, donde la placa Suramericana se hunde al oeste bajo la placa del Caribe. Su reflejo superficial es la fosa de Barbados, que muestra un prisma de acresión entre Barbados y las Antillas Menores, y más al oeste, las islas volcánicas que trazan un arco convexo hacia el este. Al oeste de las islas volcánicas está una depresión denominada Cuenca de Granada que corresponde con una cuenca de retroarco. Compare estos elementos con los que se muestran en la figura 4.5. Otro límite convergente de la placa del

Caribe está situado a lo largo de la costa pacífica de Centroamérica. En este lugar las placas de Nazca y Cocos, pertenecientes al Pacífico, se hunden en la trinchera o fosa de Centroamérica hacia el este, por debajo de la placa del Caribe, dando así lugar a los volcanes y frecuentes terremotos que caracterizan la región centroamericana.

El hecho de que la placa del Caribe esté limitada al este y al oeste por límites convergentes, permite afirmar que el Caribe se desplaza relativamente al este, con respecto a las placas de Norteamérica y Sudamérica (Fig. 4.7).

Formación del Caribe y de Cuba

Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent

En este capítulo se describen los procesos y las distintas geografías del pasado, desde que en el planeta existía un único continente Pangea y un océano denominado Panthalassa, hasta la configuración del paisaje insular actual. Por ello, se puede afirmar que el Mar Caribe tiene una antigüedad aproximada de 170 a 160 millones de años. Antes no existía puesto que el lugar que ocupa hoy día, entre América del Norte y América del Sur, era una parte del interior de Pangea, un supercontinente que existió durante la primera mitad de la era Mesozoica. Aquella gran masa terrestre comenzó a fracturarse 200 millones de años atrás, y así se formaron una serie de estrechos canales acuáticos en el interior de aquel continente, los cuales pueden considerarse, de cierto modo, los precursores del Caribe. Hacia la segunda mitad del Jurásico, algunos de aquellos canales colapsaron, pero otros se ensancharon hasta formar el Atlántico, el Golfo de México y el Caribe primitivo (Fig. 5.1).

Jurásico

El Caribe primitivo se abrió como consecuencia de la fracturación y la dispersión del continente Pan-

gea. Al principio era un paso oceánico relativamente estrecho, donde se encontraban fondos arenosos no muy profundos, que colindaban con las costas de Laurasia occidental (América del Norte) y Gondwana occidental (América del Sur). Las planicies costeras eran, en sus inicios, arenosas, a causa de la acumulación de los materiales acarreados por los ríos continentales. Estas zonas costeras se transformaron en pantanos con fangos ricos en *humus* (materia orgánica). Con el paso del tiempo algunos de estos fondos bajos pasaron a ser extensas plataformas, en las cuales se acumulaban limos y arenas calcáreas biogénicas. Asimismo, con el ensanchamiento del Mar Caribe surgieron fondos de aguas profundas, donde se depositaron, sedimentos calcáreos y silíceos (Fig. 5.2).

Los primitivos fondos arenosos estaban poblados por una variedad de organismos, de acuerdo con su capacidad de explotar los recursos de los ambientes existentes. Hace 180 a 170 millones de años, en las zonas litorales dominaban los ambientes deltaicos y de humedales, donde se encontraban plantas acuáticas y vegetación de costa, incluido el helecho *Piazopteris branneri*. En las zonas de inundación costera se hallaban algunos moluscos

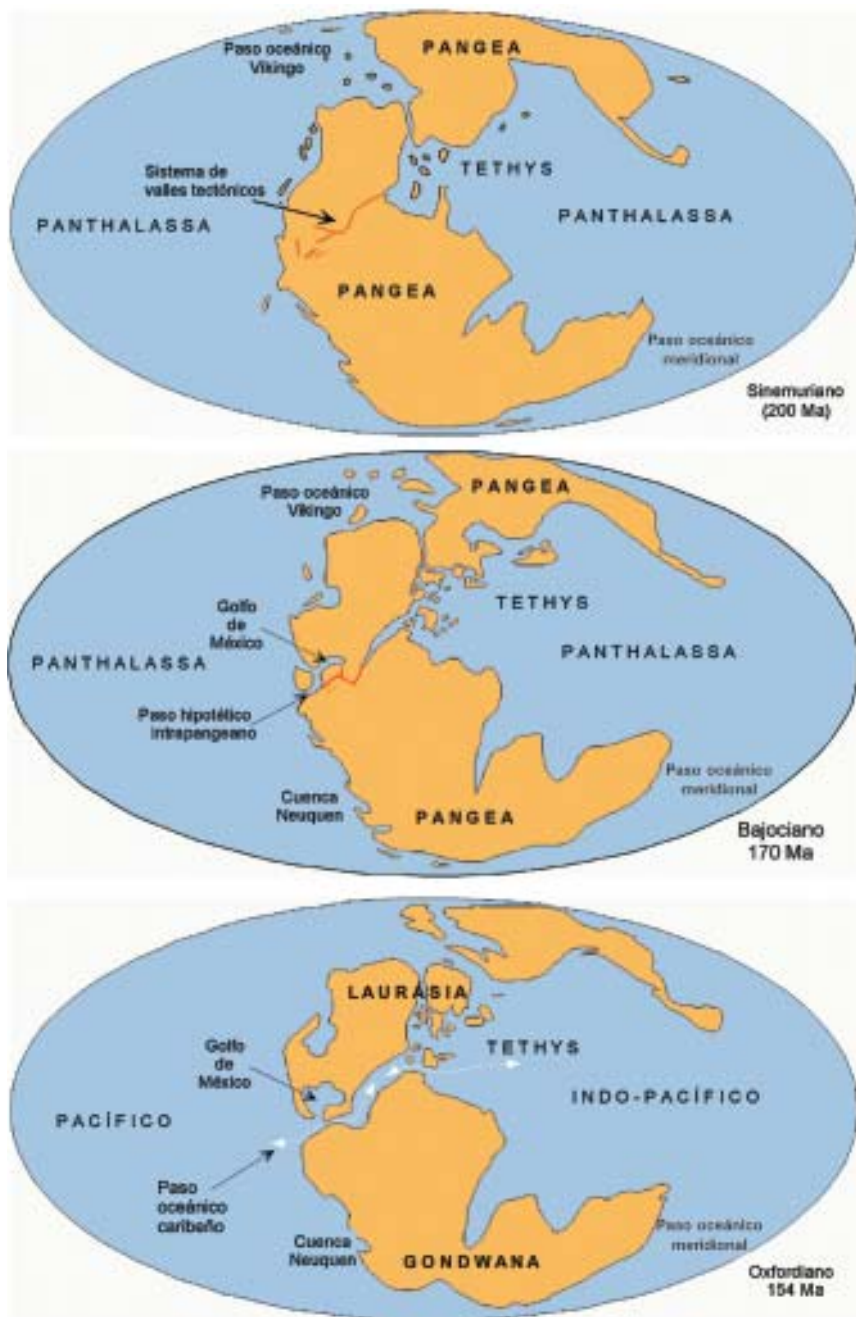


Fig. 5.1: Mapas paleogeográficos del globo terrestre para el Jurásico. Se observa el proceso de fracturación de Pangea y la formación de Laurasia, Gondwana y el Caribe primitivo. Las flechas blancas sugieren las rutas de migración de los animales marinos.

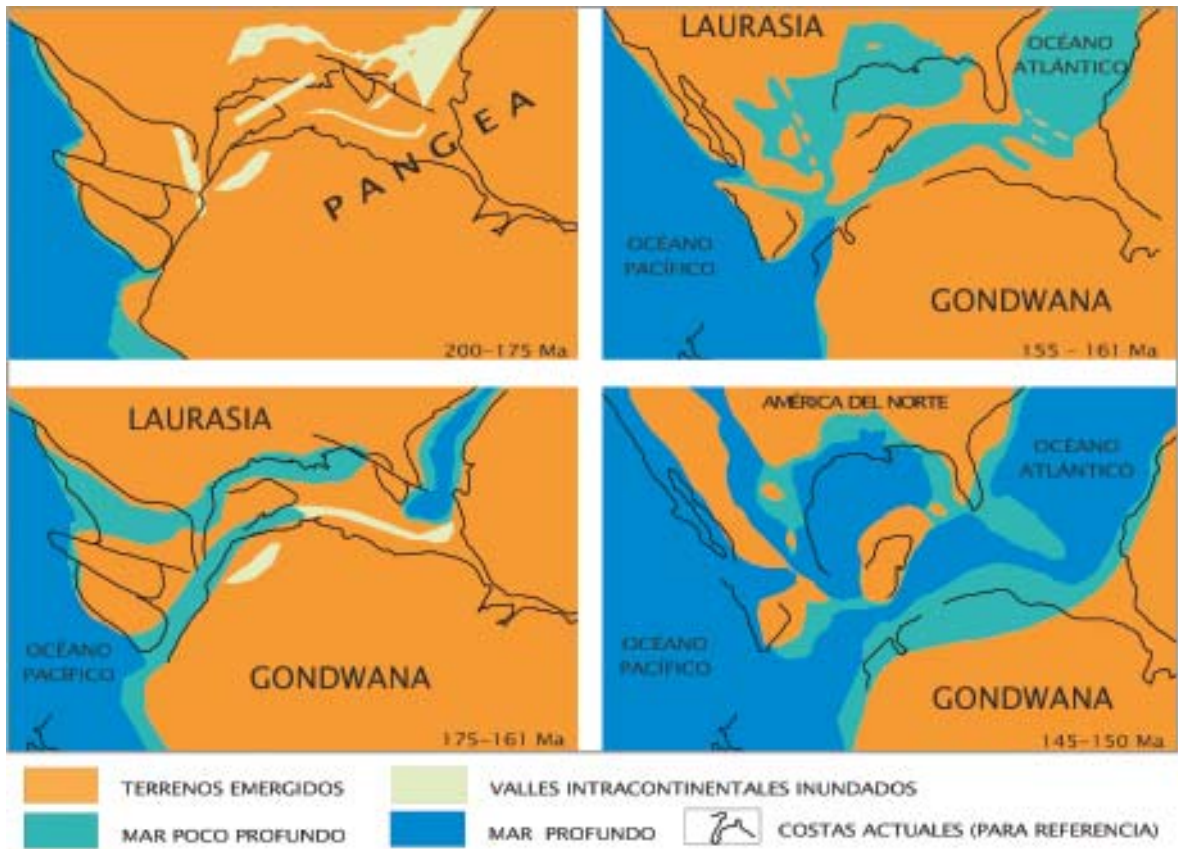


Fig. 5.2: Mapas paleogeográficos detallados. Se observa la formación del Caribe y el Golfo de México durante el Jurásico.

bivalvos, como las trigonias, y en especial los ostiones, que llegaban a formar horizontes muy ricos en conchas.

Primeros pobladores del Caribe

Hace 165 millones de años el Caribe primitivo era una amplia extensión de aguas que servía de comunicación a dos océanos, el Atlántico norte y el Pacífico (Fig. 5.3). Siguiendo las corrientes marinas que fluían de este a oeste, comenzaron a poblar y a circular por el Caribe una gran variedad de elementos del plancton (radiolarios, ostrácodos) y algunos invertebrados nadadores (ammonites,

belemnites y buchias). Con estos, llegaron los peces. Esta pluralidad de alimento atrajo a una enorme diversidad de reptiles carnívoros. Las costas del Caribe primitivo se poblaron de tortugas acuáticas (*Caribemys oxfordiensis*) y desde la tierra volaban en busca de alimento los pterosaurios (*Nesodactylus hespericus*, *Cacibupteryx caribensis*). Allí también vivían algunos dinosaurios, cuyos restos se han encontrado en Cuba. Hacia el mar abierto dominaban los pliosaurios (*Gallardosaurus*), los cocodrilos oceánicos (*Geosaurus*), los plesiosaurios de cuello largo (*Vinialesaurus*), y los ictiosaurios (oformosaurios). La figura 5.4 muestra los primitivos pobladores del Caribe.



Fig. 5.3: Paleogeografía del Caribe primitivo durante el Jurásico superior, cuando era habitado por reptiles marinos y terrestres, cuyos restos se han encontrado en Pinar del Río: 1. Reptiles marinos. 2. Pterosaurios. 3. Dinosaurios.

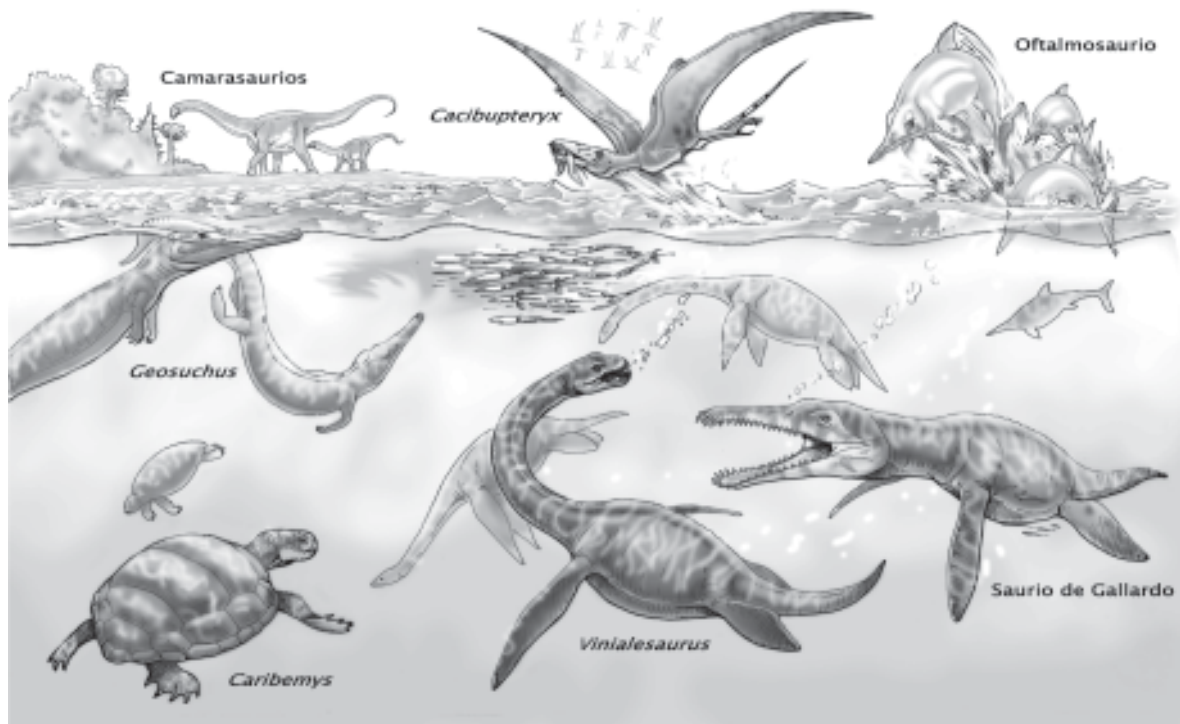


Fig. 5.4: Fauna del Caribe primitivo y de la costa de Laurasia, en el Jurásico superior oxfordiense. (Cortesía de Zulma Gasparini).

Aquellos animales venían migrando desde un océano situado muy lejos al noreste, llamado Tethys, ya desaparecido, cuyos restos en forma de rocas sedimentarias se encuentran hoy en Europa, Asia y el norte de África. En su movimiento, esta fauna se desplazaba por el Caribe y llegaba al Océano Pacífico, siguiendo la dirección de las corrientes marinas (Fig. 5.1).

Cretácico

Desde el inicio del Cretácico, hace 145 millones de años, ocurrió un cambio en la geografía del Caribe (Fig. 5.5). El pasaje oceánico alcanzó su máxima anchura, y surgieron islas volcánicas y bajos, que complicaron el relieve, tanto emergido, como submarino. A partir de entonces, la libre circulación de las aguas oceánicas estuvo regulada por la extensión de estos bajos e islas, pues en algunos períodos esta circulación casi se interrumpió (75 a 70 millones de años). Es conocido que el Cretácico fue una etapa relativamente cálida de la historia de la Tierra, y que en aquellos tiempos, en las zonas tropicales se desarrollaron extensamente los ambientes de plataformas calcáreas, donde proliferaba la vida marina. El Mar

de Tethys-Caribe es un ejemplo de esto. Asimismo, en los fondos profundos del Caribe se acumularon sedimentos arcillosos ricos en organismos del plancton, y en el entorno de las islas volcánicas, sedimentos arenosos y calcáreos, intercalados con lavas solidificadas, ceniza y brechas volcánicas.

Entonces, alrededor de las islas y en las zonas bajas, aparecieron las condiciones para el desarrollo de ricas comunidades de moluscos (incluyendo rudistas), escasos corales aislados, equinodermos, foraminíferos, ostrácodos, algas y otros invertebrados (Fig. 5.6). Entre los organismos neotónicos (nadadores) se hallaban tortugas, serpientes marinas del tipo mosasaurios, y una variedad de peces y moluscos cefalópodos (ammonites y belemnites).

En aquellos mares, las erupciones volcánicas eventualmente contaminaban las aguas con sus productos, poniendo en crisis las comunidades marinas cercanas a los volcanes. Pero se observa durante el Cretácico que tras la pérdida de los ecosistemas de las plataformas calcáreas que rodeaban aquellas islas, sustituidas en el tiempo por lavas, brechas y arenas volcánicas, ocurría la pronta recuperación de los ambientes calcáreos, al reducirse la presencia de volcanes y sus productos. Ejemplo de ello

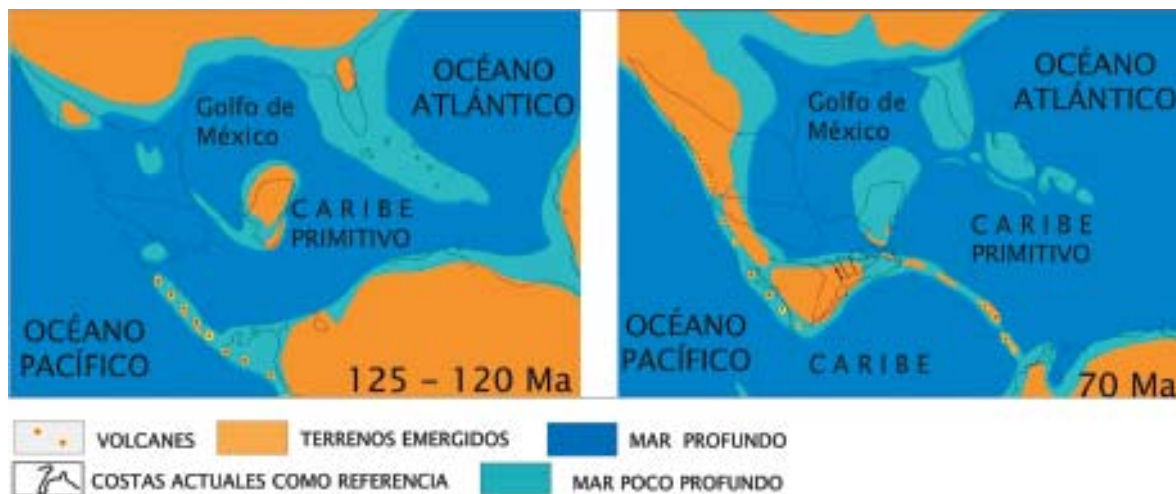


Fig. 5.5: Paleogeografía del Caribe primitivo durante el Cretácico.

son las plataformas asociadas a las rocas volcánicas de las Antillas Mayores, en particular las que se formaron hace 65 a 75 millones de años, que presentan una enorme biodiversidad de rudistas, corales, algas y muchos otros organismos marinos, a causa de la extinción temporal de la actividad de los volcanes antillanos (Fig. 5.5).

Al final del Cretácico (hace 65 millones de años), hubo una crisis ambiental global que generó una gran mortalidad, en especial, en el Caribe (Capítulo 8).

Esta crisis ecológica fue desencadenada por el choque de la Tierra con un enorme bólido espacial, cuyo impacto tuvo lugar en Chicxulub (hoy día, Yucatán). Obviamente, los efectos de este choque en el Caribe fueron considerables. La crisis ambiental del final del Cretácico exterminó un gran número de especies marinas en todo el mundo, independientemente de su tamaño o hábito de vida, como los foraminíferos planctónicos (globotruncánidos), cefalópodos ammonites y belemnites nada-

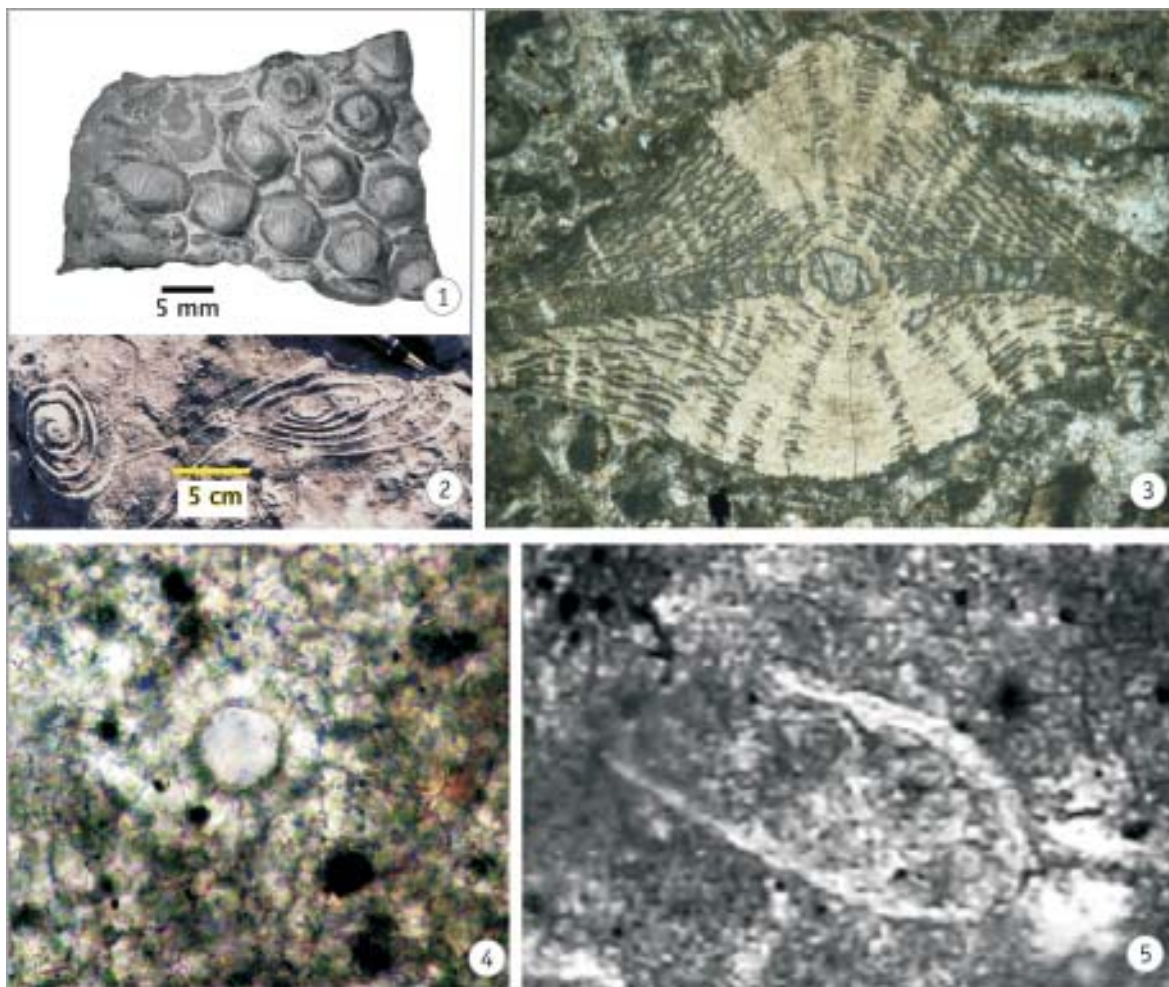


Fig. 5.6: Restos fósiles de habitantes del Mar Caribe durante el Cretácico: 1. Placa dental de tiburón *Ptychodus cyclodontis*. 2. Cortes internos de las conchas del gastrópodo *Acteonela*. 3. Sección de la concha de un foraminífero *Orbitoides*. 4. y 5. Secciones muy ampliadas de microorganismos del plancton (*Calcisphaera* y *Tintinopsela*). (3. a 5. Cortesía de Rolando García).

dores, pelecípodos rudistas (bentónicos), reptiles marinos (mosasaurios); y en el ambiente terrestre, los dinosaurios y pterosaurios, entre otros. Sin embargo, sobrevivieron los cocodrilos terrestres, las tortugas marinas y terrestres, los mamíferos terrestres, las aves y muchos otros organismos. Es importante constatar que, a pesar de la crisis creada por el impacto, y la extinción masiva de numerosas especies de animales y plantas, la vida continuó en la tierra y en el mar. La consecuencia fue una nueva “repartición” de los ecosistemas del mundo, de modo que los sobrevivientes y sus descendientes pudieron ocupar espacios antes dominados por otras especies.

Es obvio que los eventos catastróficos generados por el impacto en Chicxulub, hayan afectado con especial intensidad el área del Caribe, donde se han confirmado deslizamientos y derrumbes costeros de enormes proporciones, y la acción de varios trenes de olas gigantes (tipo tsunami) en breve tiempo. Por ello, se puede suponer que la mayoría de las comunidades marinas del Caribe fueron eliminadas, así como las que habitaban las islas y las tierras bajas de los márgenes continentales. En Cuba, están bien representados los depósitos de rocas sedimentarias originadas en el antiguo Mar Caribe, como consecuencia del impacto. Estos son comunes en Pinar del Río (comunidad de Moncada y en la carretera de Soroa a Bahía Honda), entre La Habana y Matanzas, y en Loma Capiro, al norte de Santa Clara.

Reestructuración de las biotas del Caribe

Después de la crisis ambiental mencionada, comenzó la recuperación de los ecosistemas marinos y terrestres del Caribe. En las rocas sedimentarias del Paleoceno (65 a 55 millones de años) aparecen restos fósiles de una gran variedad de organismos marinos, distintos a los precedentes, incluyendo representantes del plancton y el bentos microscópico (foraminíferos, ostrácodos, radiolarios, braarudos-féridos), invertebrados (moluscos, equinodermos,

corales) y vertebrados (peces). Pero estos organismos deben haber llegado migrando desde los mares circundantes (Atlántico y Pacífico), y de distintos modos se dispersaron y recolonizaron el Caribe. Sobre esta base se puede afirmar que las corrientes marinas superficiales que fluían de este a oeste trajeron el plancton y las larvas de muchos invertebrados desde el Atlántico, y algunas contracorrientes del Pacífico también alimentaron el Caribe con su carga de vida.

Paleoceno-Eoceno

La biota del Paleoceno y el Eoceno (65 a 34 millones de años), en su composición global era muy semejante a la actual. Sin embargo, la distribución de tierras y mares en el Caribe era bien distinta a la del presente. Por ejemplo, aquellas islas no son las mismas que conocemos hoy día, pues sufrieron profundas transformaciones subsecuentes (Fig. 5.7).



Fig. 5.7: Paleogeografía del Mar Caribe durante el Eoceno inferior. Las islas volcánicas en medio del Caribe son, hoy día, parte de la Sierra Maestra.

Durante aquella etapa se desarrollaron variados ambientes marinos. En los fondos poco profundos habitaban diversos grupos de invertebrados, con la peculiaridad de que comenzaron a dominar los corales y las algas al desaparecer los rudistas. Los peces, tanto óseos como cartilagosos, se hacen abundantes y muy diversos, pues desapareció la competencia con los reptiles gigantes. Sin embargo, diversos mamíferos conquistaron los mares, tales como las ballenas, los delfines, los sirenios y las focas. En las costas han desaparecido los pterosaurios, sustituidos por las aves y los murciélagos. La figura 5.8 muestra algunos fósiles de animales típicos del Eoceno cubano.

Antes de finalizar el Eoceno (45 a 37 millones de años), el movimiento de la placa del Caribe terminó por insertarla entre los continentes de América del Norte y del Sur. Como consecuencia de este movimiento, tiene lugar el choque frontal de la placa del Caribe contra la corteza terrestre de las Bahamas, que pertenece a la placa de Norteamérica. Este frente de colisión entre placas produjo extensas transformaciones en los macizos de rocas, de manera que se formaron los mantos de rocas intensamente deformadas que hoy constituyen el substrato de nuestra isla. Por ello, es que en muchos lugares de Cuba existen rocas originadas en el Océano Pacífico, entremezcladas con otras procedentes del antiguo Caribe y de las Bahamas (Figs. 2.1 y 2.10).

Oligoceno a reciente

Después del Eoceno, la configuración de la geografía caribeña sufrió constantes variaciones (Fig. 5.9). La actividad volcánica se ha limitado a las zonas extremas del este (futuras Antillas Menores,) y a lo que luego será América Central. Las tierras antillanas constituyen un obstáculo parcial para la circulación de las aguas marinas, aunque entre ellas existían canales marinos relativamente profundos. Eran abundantes los fondos marinos poco profun-

dos, bien intercomunicados por canalizos y pasos de aguas profundas. En el Plioceno, el escenario geográfico era muy similar al actual.

En las rocas sedimentarias del Oligoceno, el Mioceno y el Plioceno de la región del Caribe, se han reportado restos fósiles de una gran variedad de organismos, muy semejantes a los que hoy día habitan estas aguas (Fig. 5.10). Ellos tienen sus relativos más cercanos en el Atlántico norte, central y sur, y en el Pacífico central y septentrional. Esto refleja la amplia interacción que existió entre esas aguas oceánicas a través del Caribe. Sin embargo, hay algunas peculiaridades que se deben resaltar. Desde el Oligoceno comenzaron a desarrollarse las comunidades coralinas de arrecifes, que alcanzaron su mayor extensión a partir del Mioceno, hasta el presente.

Durante el Oligoceno y el Mioceno, el Caribe, como la Florida, estuvo poblado por diversas especies de dugones (Fig. 5.11), que se extinguieron al final del Mioceno y fueron sustituidos por los manatíes desde el Plioceno-Cuaternario (posterior a cinco millones de años). Este reemplazo de unos animales por otros, estuvo precedido por una modificación de la vegetación marina de las aguas poco profundas, pues los manatíes tienen una estructura de sus mandíbulas que les facilita alimentarse mejor del seival actual.

En las rocas del Paleoceno y más jóvenes se han encontrado restos fósiles de tiburones, con una gran variedad de especies cosmopolitas, algunas de las cuales sobrevivieron hasta el presente, como el *Hemipristis serra* (Fig. 5.10). Durante el Mioceno se desarrolló el gigantismo en los peces cartilaginosos, como el tiburón *Carcharodon megalodon* y la manta *Aetomylaeus cubensis*. Del mismo modo, en el Mioceno circulaban las ballenas por el Caribe, pues sus restos fósiles se encuentran en rocas de esta edad en el Canal de la presa Zaza, en Sancti Spiritus (Fig. 5.11).

Hace alrededor de 2,5 millones de años, en el Mar Caribe comenzó una nueva etapa de desarro-

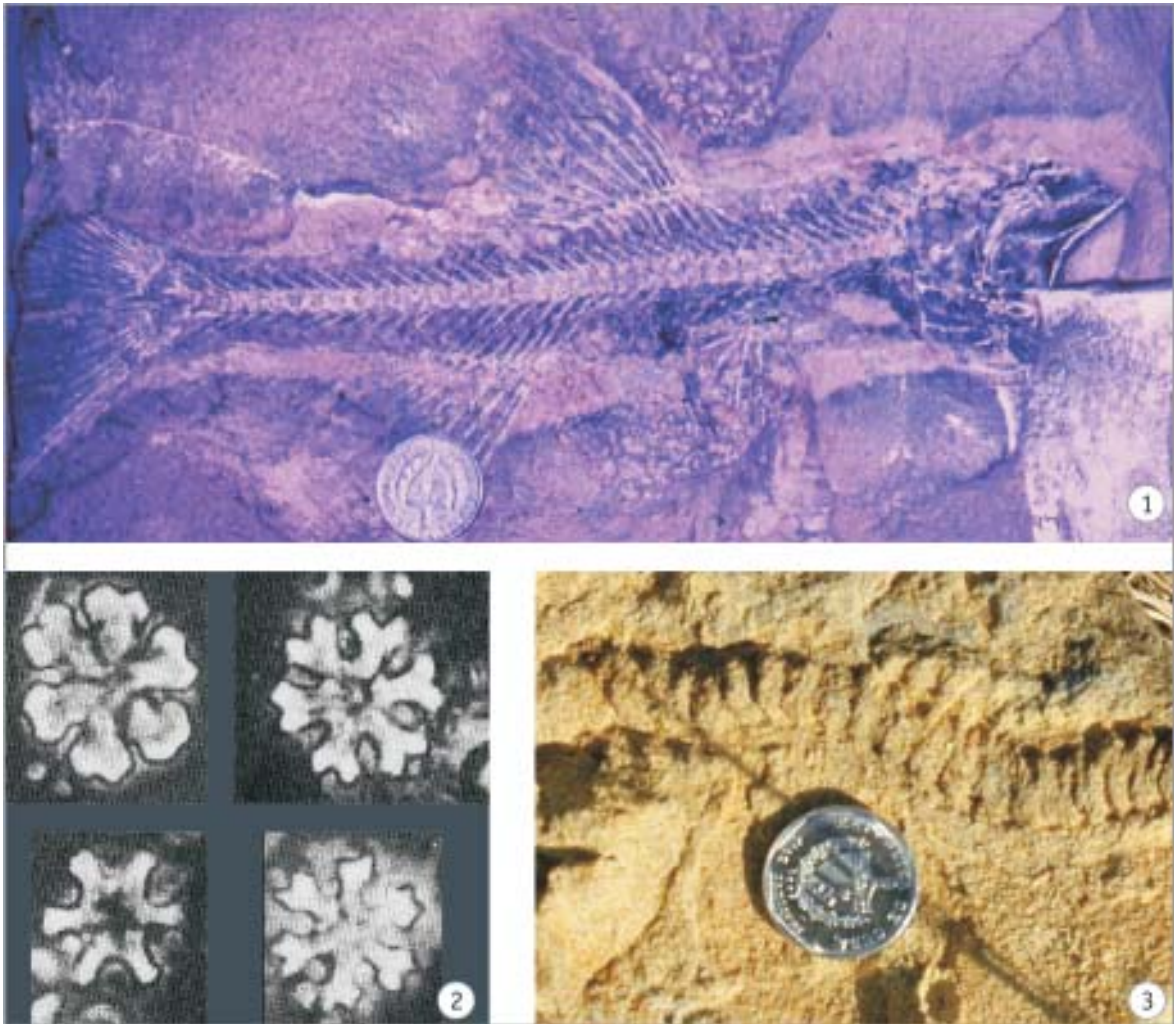


Fig. 5.8: Restos fósiles de habitantes del Mar Caribe durante el Eoceno: 1. Pez óseo (Sierra Maestra) (Cortesía de Carl Bowin). 2. Fotografía al microscopio de representantes del plancton (*Discoaster*), recuperados de una muestra de roca tomada en los farallones de la calle G, esquina a 25, en La Habana (Cortesía de Gustavo Furrázola). 3. Huellas dejadas en el fondo del mar profundo por gusanos poliquetos (autopista La Habana-Mariel).

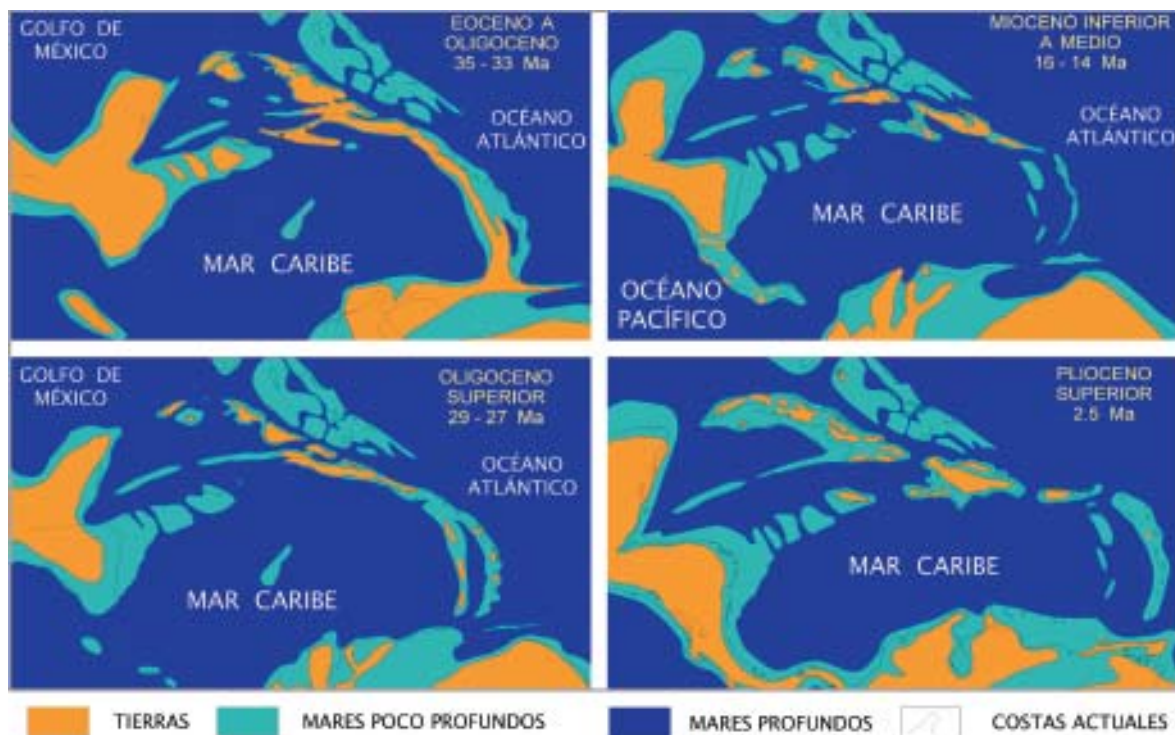


Fig. 5.9 Paleogeografía del Caribe desde el final del Eoceno al Plioceno. Es notable cómo los núcleos de las futuras Antillas estaban unidos entre sí y con Suramérica hace alrededor de 35 a 33 millones de años y, después, se separaron sucesivamente y modificaron los contornos de las tierras hasta el presente. También se evidencia el proceso de formación de la fosa de Bartlett-Caimán, al sur de Cuba.

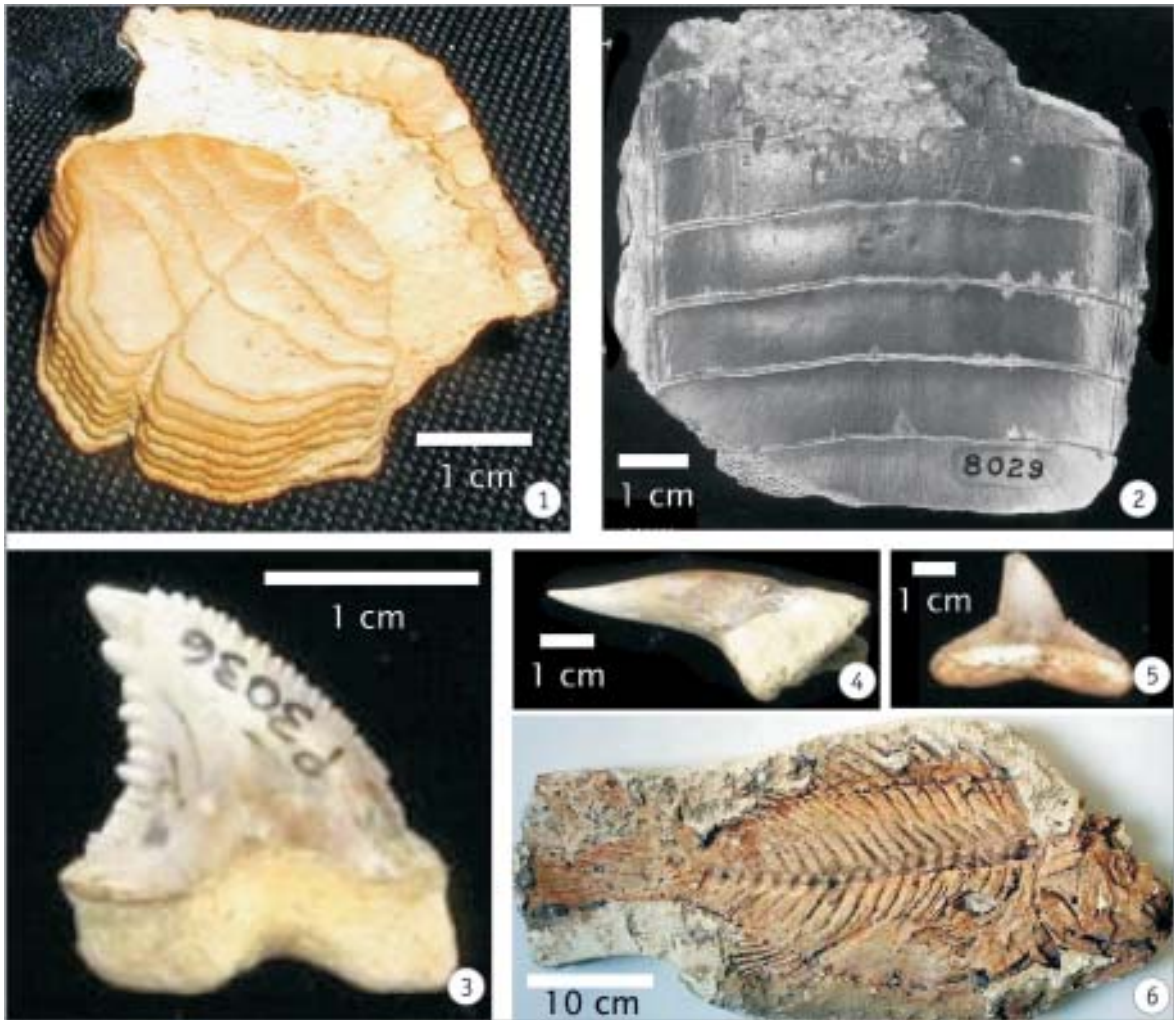


Fig. 5.10 Restos fósiles de habitantes del Mar Caribe durante el Mioceno: 1. Placa dentaria del pez óseo *Diodon circumflexus* (Cueva de Bellamar, Matanzas). 2. Placa dental de la raya *Aetomylaeus cojimarensis* (Cojimar, La Habana). 3. a 5. Dientes de tiburón *Hemipristis serra* (3. y 4.) (La Sierpe, Sancti Spiritus) y *Carcharhinus perezii* (5.) (Caimito, La Habana). 6. Pez óseo indeterminado (Agramonte, Matanzas).

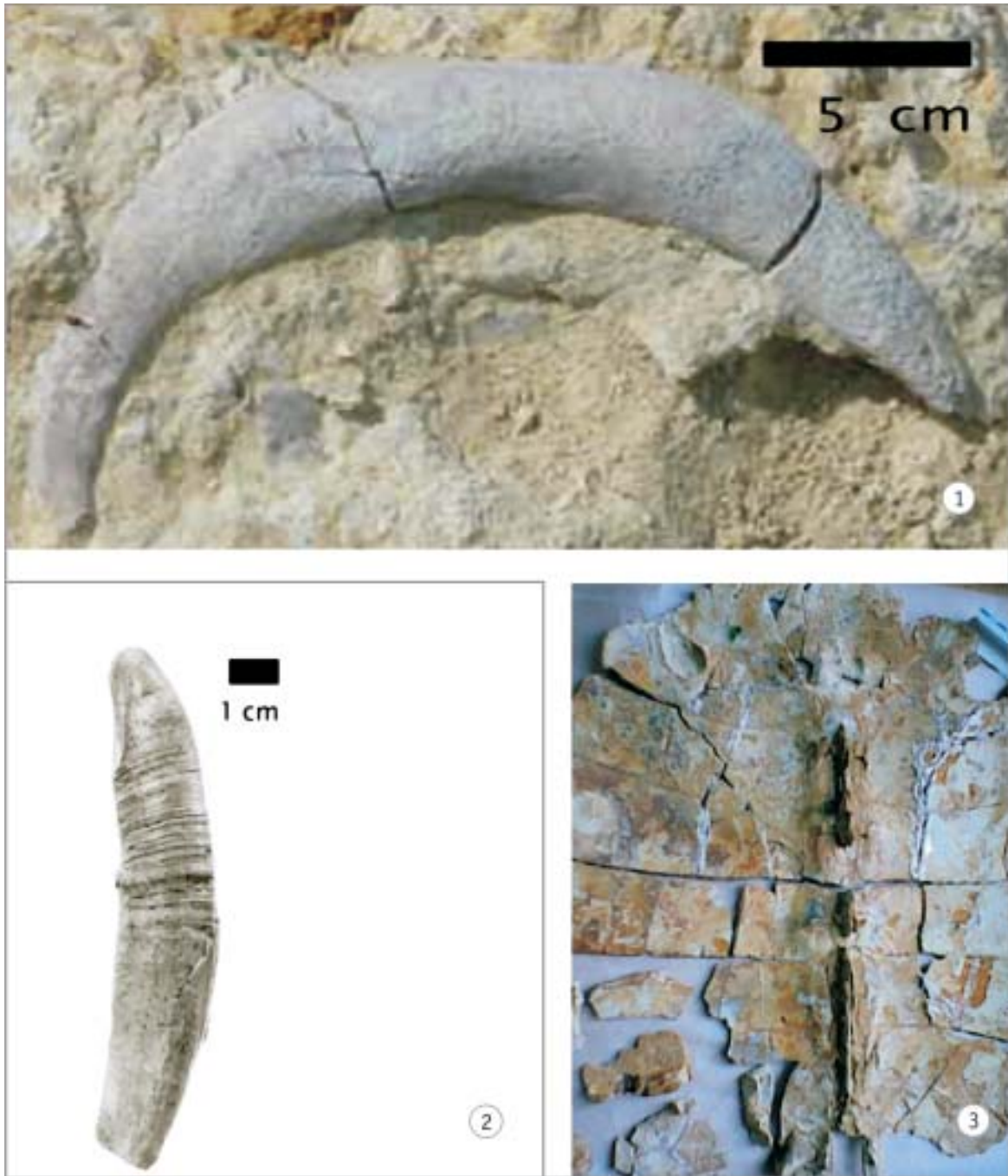


Fig. 5.11: Fósiles del terciario en Cuba: 1. Costilla de dugón *Metaxitherium* (Zaza, Sancti Spiritus). 2. Diente de ballena *Odontocete* (Zaza, Sancti Spiritus). 3. Tortuga de agua dulce del tipo Pelomedusidae (Zaza, Sancti Spiritus).

llo, ligada en sus inicios al levantamiento progresivo del istmo de Panamá. Esta barrera terrestre entre el Caribe y el Pacífico, se establece primero de manera intermitente, puesto que durante las etapas de elevación del nivel del mar ocurrieron intercambios de faunas entre el Pacífico y el Caribe, como lo demuestra el estudio de algunas especies de gasterópodos. Sin embargo, desde el Pleistoceno inferior (hace 700 000 años), la comunicación Caribe-Pacífico se interrumpe hasta el presente. Desde entonces, la geografía del Caribe se asemeja mucho a la actual, las comunidades marinas se hacen más cercanas a las atlánticas y surgen nuevos endémicos.

Delimitación geográfica de Cuba

La forma actual de Cuba y de su plataforma insular es un hecho geográfico extremadamente joven, pues los contornos del archipiélago se han delimitado en los últimos 6 000 años. Este proceso comenzó hace 30 millones de años, cuando la tendencia general de la evolución tectónica del territorio de Cuba ha sido la ascensión del terreno y el incremento de su área, en particular, desde el Mioceno medio a superior. Por ello se considera que el factor principal de la formación del relieve de la isla, tanto de zonas terrestres como marinas, son los movimientos del terreno. En este marco, las oscilaciones del nivel del mar —glacioeustáticas— han modulado la velocidad con que tiene lugar la ampliación o reducción de las tierras emergidas y la extensión de la plataforma insular, aunque su papel en los últimos 120 000 años, ha sido un tanto más destacado. Esto se observa bien al inspeccionar los mapas paleogeográficos del Cuaternario de Cuba (Fig. 5.12).

Las rocas sedimentarias de origen marino que se depositaron en estos últimos 1,8 millones de años, por lo general están expuestas en las terrazas marinas que rodean algunas costas de levantamiento, bajo la plataforma insular, y en otros terrenos

insulares. Entre estas dominan las calizas y margas con abundantes restos de invertebrados marinos, que pertenecen a los mismos géneros que habitan, hoy día, los fondos calcáreos de la plataforma insular. En menor grado se han preservado los depósitos arcillo-arenosos que se originaron en los fondos del tipo “llanuras de seibadal”, que existieron en el pasado. En algunas localidades se han mantenido preservados los sedimentos que en el pasado, representaron las áreas del delta de los ríos, donde se acumularon potentes depósitos areno-gravosos.

El mapa de finales del Plioceno e inicios del Pleistoceno revela que ya en aquella época estaba delimitado el archipiélago cubano como un gran promontorio en el Caribe noroccidental. Un sistema de taludes bastante abruptos (los cantos del veril), separaba el territorio cubano de los fondos profundos del Canal Viejo de Bahamas, y de la Cuenca de Yucatán. Dentro de este promontorio existían tierras elevadas y una extensa llanura que se inundaba periódicamente, durante los momentos de elevación del nivel del mar. Sin embargo, había grandes extensiones de fondos marinos lodosos-arenosos, poco profundos, donde habitaron distintos invertebrados, corales y peces.

El mapa del escenario geográfico del Pleistoceno superior (120 000 - 125 000 años) representa la etapa cuando el nivel del mar estaba relativamente alto. En aquel tiempo existían varios archipiélagos de islas no volcánicas, dentro de los cuales se destacaban zonas montañosas y llanuras. Estos archipiélagos estaban rodeados de una extensa plataforma insular, cubierta por mares de aguas cálidas, poco profundas, durante una etapa interglacial. Entonces se desarrollaron los sedimentos calcáreos, donde hay abundantes restos fósiles de corales y otros invertebrados propios de aguas de salinidad normal, bien oxigenadas (Fig. 5.12).

El mapa del Pleistoceno tardío representa el escenario geográfico de hace 20 000 a 25 000 años atrás, cuando el nivel del mar descendió hasta 120 metros

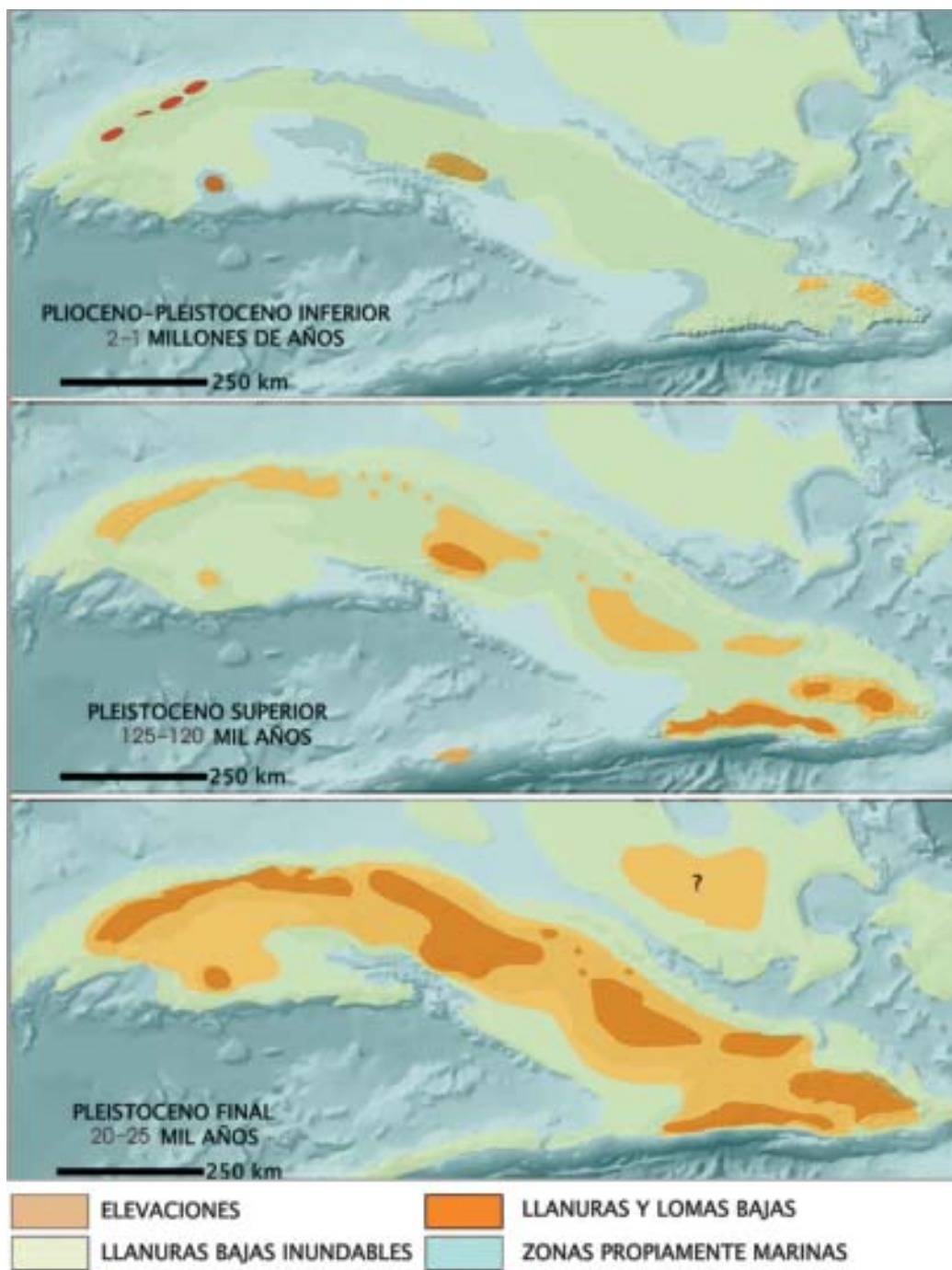


Fig. 5.12: Paleogeografías del Plioceno-Pleistoceno. Aquí se observan momentos relevantes del proceso de la formación del archipiélago cubano.

por debajo de la cota actual, y la mayor parte del área cubana limitada por el “canto del veril” quedó expuesta a la intemperie y se desecó. En aquella época se podía caminar desde Cuba, hasta lo que sería después la Isla de la Juventud y los cayos. Las grandes extensiones terrestres estaban rodeadas por una llanura temporalmente inundada, que ocupaba una franja estrecha en el borde de la plataforma insular actual, incluyendo los territorios de la cayería, la península de Zapata, el tercio septentrional de la Isla de la Juventud, y la península de Guanahacabibes, entre otras. La consecuencia de esta retirada de los mares fue drástica, pues toda la vida marina de la plataforma insular cubana desapareció. Es posible que esta situación durase algunos miles de años, pues se desarrolló un relieve complejo, incluso suelos localmente potentes. Este proceso de oscilaciones del nivel del mar, que influyó mucho en las transformaciones y en la formación de las costas cubanas, se representa en la figura 5.13. Se puede observar que, en ocasiones, el nivel de los mares estuvo elevado (interglaciales y consecuente derretido de los hielos polares), en tanto que en otras etapas descendió muy por debajo del nivel actual (glaciaciones y formación de potentes casquetes de hielo en los polos).

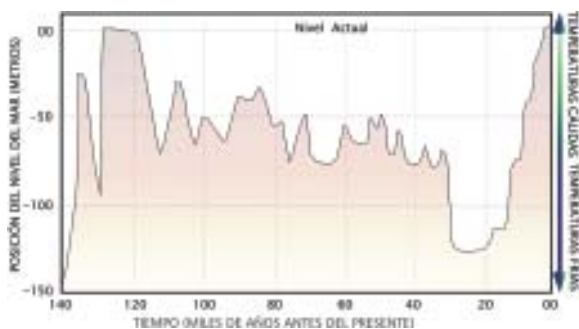


Fig. 5.13 Oscilaciones del nivel del mar en los últimos 140 000 años. Los puntos más alto y más bajo alcanzados por el mar se corresponden con las épocas mostradas en los mapas paleogeográficos. (Adaptado de la revista *Science*).

Desde hace alrededor de 20 000 años hasta el presente, el mar ha ido conquistando los terrenos antes emergidos, inundando los territorios bajos que en la actualidad constituyen la plataforma insular. Se calcula que la velocidad promedio de los movimientos verticales del terreno en Cuba, por entonces osciló entre uno y tres milímetros por año, mientras que el promedio de elevación del mar fue de 4,8 milímetros por año. Asimismo, se sabe que entre 10 000 y 8 000 años atrás hubo una aceleración del ascenso del nivel del mar y un descenso posterior, que debió hacer retroceder la línea de costa y reestructurar la posición de los arrecifes de corales. Esto quiere decir que los arrecifes coralinos se han acomodado a su posición actual, apenas en los últimos 8 000 años (Fig. 5.13).

Todas estas modificaciones de la geografía, en los 25 000 años pasados, tuvieron consecuencias para la biota marina. Ante todo, se puede decir que los ecosistemas marinos actuales de la plataforma insular de Cuba, deben haberse formado en los últimos 20 000 años. Puede afirmarse, asimismo, que la posición actual de los principales arrecifes de corales cubanos debe tener menos de 8 000 años y que la configuración de las costas y los humedales costeros se alcanzó en los últimos 8 000 años, y sigue cambiando. Por ello, se puede concluir que durante el Cuaternario y, en particular durante el Holoceno, se formaron los ecosistemas de Cuba actual.

Resumen de la historia geológica del Caribe

La historia del desarrollo del Caribe y sus biotas, desde el comienzo de su formación al principio de la Era Mesozoica, en el Triásico se resume en la tabla 5.1. Más detalles se pueden encontrar en la literatura científica dedicada a estos temas.

TABLA 5.1

Principales eventos en la historia de la formación y la evolución del Caribe, con énfasis en las Antillas

Etapa y duración	Sucesos principales
Fracturación de Pangea y origen del Caribe (200 -150 millones de años)	La fracturación de Pangea origina un canal oceánico que se extiende de este a oeste, del cual el Mar Caribe constituye su porción más occidental. En el Caribe primitivo habitaron invertebrados, peces y reptiles marinos, pero ninguno de estos tiene descendientes en la biota cubana actual.
Evolución del Caribe I (150 - 65,1 millones de años)	En el Mar Caribe habitaron numerosas especies de animales y plantas acuáticas. Aparecen islas volcánicas de distinta magnitud, que se hundieron pocos millones de años después, de modo que los animales y plantas terrestres que las moraron se extinguieron sin dejar descendientes.
Catástrofe ambiental (65 millones de años)	La Tierra es interceptada en su órbita por un bólido espacial de grandes dimensiones, que impacta en la península de Yucatán provocando una crisis ambiental global y la muerte de muchísimas poblaciones. En el Caribe y sus islas el efecto es mayor, de modo que, tal vez, toda la biota terrestre es extirpada, así como una gran parte de la biota marina (si no toda).
Evolución del Caribe II (64,9 - 40 millones de años)	Los mares e islas del Caribe se pueblan de nuevo con una biota más moderna, la cual evoluciona con los cambios climáticos y geográficos que se suceden. Los animales marinos crean linajes —algunos llegan hasta la actualidad—, pero pocos son terrestres, pues las islas (volcánicas o coralinas) tienen una duración efímera. Al hundirse las islas en el mar, solo sobreviven aquellos animales o plantas que fueron capaces de migrar a otra isla cercana.
Primeras poblaciones realmente antillanas (40 - 35 millones de años)	Hace 40 millones de años surgieron los núcleos terrestres antillanos que, como tierras emergidas, durarían hasta la actualidad. Se establecen las primeras formas de vida terrestre, incluyendo plantas e invertebrados. Hace 35 - 33 millones de años se forma una cresta de terreno (Gaerlandia), la cual se extendió desde América del Sur hasta lo que hoy día es Cuba central. Por esta comunicación terrestre pudieron llegar, desde la América del Sur, los ancestros de las biotas antillanas.
Evolución de las tierras y biotas antillanas (35 millones de años – 6 000 años)	Los núcleos terrestres antillanos variaron de forma y dimensiones con el tiempo, incluida su altura y su extensión. Se rompió la comunicación con América del Sur hace 30 - 32 millones de años, y se formaron muchas islas que, a la postre, se convirtieron en las Antillas Mayores. Las biotas ya establecidas evolucionaron, tanto por diversificación, como por extinción. Nuevos elementos fueron añadidos a la biota de las islas, los cuales llegaron volando, trasladados por el viento o por las corrientes marinas o viajando sobre otros animales.
Reducción de la biodiversidad en el Holoceno (6 000 años - 500 años)	Los sucesivos cambios del clima en los últimos 3 millones de años, junto con las continuas modificaciones en la forma y el tamaño de las islas antillanas, alcanzaron un punto de crisis a inicios del Holoceno, cuando Cuba, por ejemplo, se subdividió en multitud de archipiélagos menores. Esto, unido a la llegada de las primeras oleadas de humanos, (entre 10 000 y 5 000 años), provocó una fuerte reducción de las biotas terrestres antillanas. Se extinguieron los perezosos, los primates, los pequeños insectívoros, las aves gigantes, algunos murciélagos, y muchos otros animales y plantas.
Aceleración de la pérdida de biodiversidad en el Holoceno tardío (500 - 0 años)	En los últimos 500 años, desde la llegada del hombre europeo, se incrementó el proceso de pérdida de la biodiversidad indígena de las islas antillanas, al acelerarse el proceso de extinción natural que sufría la biota. Esto se relaciona con la introducción de especies exóticas que, como la mangosta, el ratón, la cucaracha y el marabú, se convierten en verdaderas plagas. La reducción de la biodiversidad natural, asimismo, se deriva de la agricultura, el urbanismo, y la explotación minera y maderera.

Origen de la biota cubana actual

Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent

Cuando se observan con detenimiento los campos, las montañas, las playas o un cayuelo, se encuentra un conjunto de hongos, algas, plantas y animales peculiares de esos ambientes. Sin embargo, surgen las interrogantes: ¿De dónde proceden esos animales y plantas?, y ¿Por qué en Cuba no hay tigres ni elefantes? La respuesta apunta a que los organismos propios de cada continente e isla, y de cada zona marina o terrestre, están ahí gracias a su capacidad de migrar, de colonizar y de evolucionar. En este capítulo se estudian las causas que permitieron llegar hasta Cuba a los ancestros de las poblaciones indígenas, es decir, aquellos organismos que se establecieron en estas tierras por medios naturales, mucho antes que el hombre hiciera su debut en las islas.

Es sabido que desde la llegada de los aborígenes a las Antillas, seguidos por los europeos, africanos y asiáticos, hasta el presente, se han venido introduciendo numerosas especies *exóticas* de animales y plantas, sin contar las bacterias, hongos, virus e infinidad de otros microorganismos que llegan junto con las cargas y los pasajeros desde el exterior.

Aunque las especies introducidas ya desempeñan un papel importantísimo en el equilibrio y la supervivencia de los ecosistemas, en lo adelante solo se hará referencia a plantas y animales originarios de Cuba.

En la biota cubana es importante saber distinguir entre las especies indígenas, aquellas que son especies endémicas. Especies *indígenas* son todas las que habitan en Cuba y llegaron acá por medios naturales, pero pudieran habitar en otros territorios insulares y(o) continentales. En contraste, las especies *endémicas* cubanas son aquellas especies indígenas que viven solamente en Cuba. Sin embargo, puede haber endémicos de las Antillas Mayores, endémicos del Caribe, etcétera.

Los animales indígenas de Cuba en el pasado no eran las mismas especies de la actualidad, pues muchos de ellos se han extinguido (Fig. 6.1). Esto se debe a varias causas, entre las cuales están los cambios de la geografía en el pasado, las sucesivas colonizaciones de estas tierras, la evolución de las especies, y las extinciones. Tales factores se traducen en algunas preguntas que se ha venido repitiendo la ciencia desde hace muchos años, cuyas

respuestas han conducido a largos debates que aún subsisten. Estas interrogantes son: ¿De dónde proceden los antepasados de los hongos, algas, plantas y animales actuales?, ¿Cómo llegaron hasta estas

tierras?, ¿Cuándo lograron asentarse los primeros representantes de estos organismos?, ¿Por qué algunos animales se extinguieron? A continuación, se examinan brevemente estos asuntos.

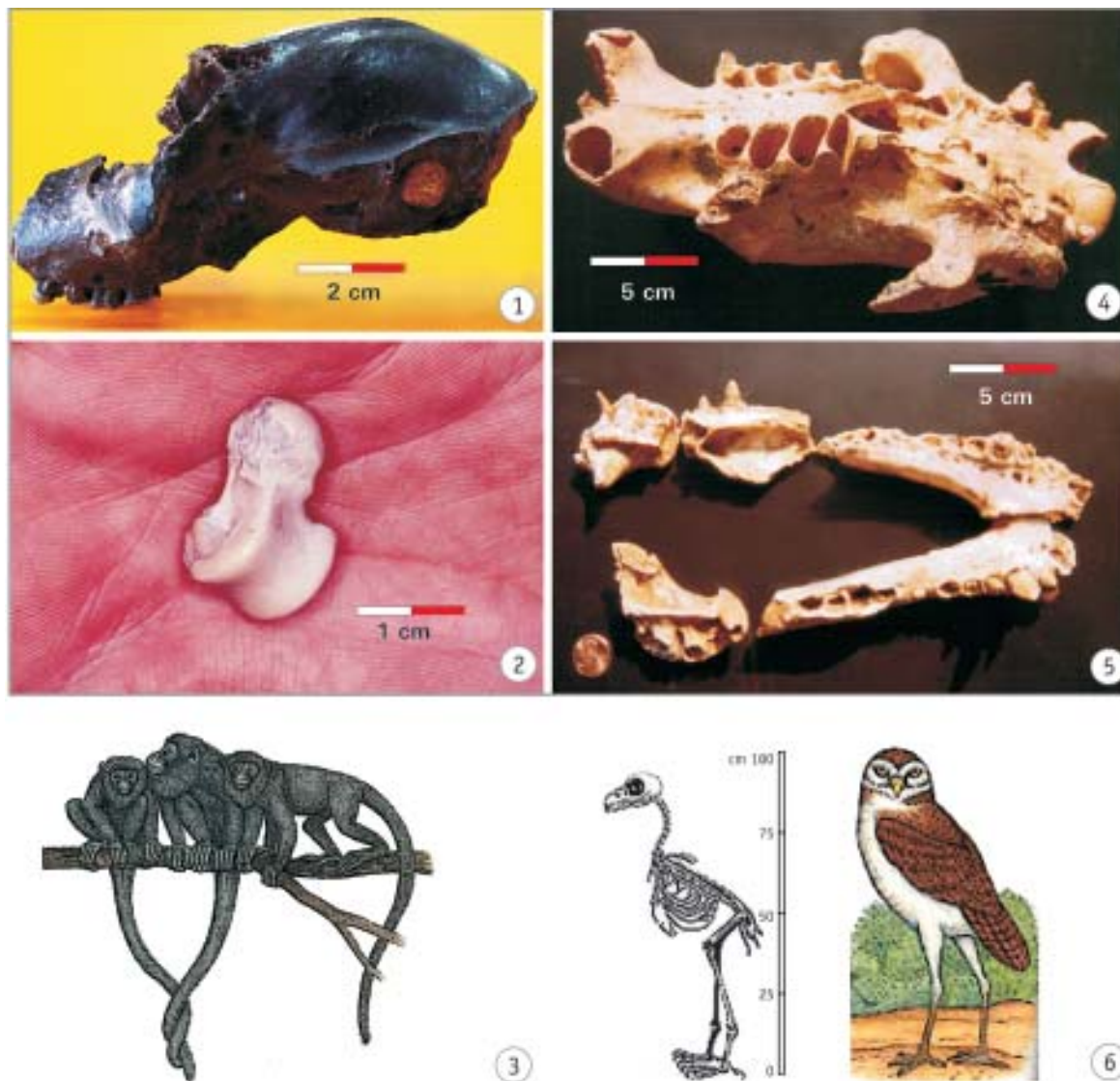


Fig. 6.1: Restos fósiles de vertebrados terrestres cubanos ya extintos: 1. Cráneo de *Paraluatta varonai* (Pleistoceno de Sierra de Galera, Pinar del Río). 2. Astrágalo de *Paraluatta marianae* (Mioceno de Zaza, Sancti Spiritus). 3. Posible aspecto de los *Paraluatta*, que se relacionan con los *Calicebus* de Suramérica. (Cortesía de Ross MacPhee). 4. Cráneo de *Megalocnus rodens* (Holoceno de Agramonte). 5. Mandíbula de *Crocodylus* (Holoceno de Agramonte). 6. Reconstrucción de la lechuza gigante *Ornimegalonix* (Holoceno). (Cortesía de Ross MacPhee).

¿De dónde procede la biota cubana? Al referirse al tema del origen de la biota indígena de Cuba, no se puede hacer en singular, pues hay varios aspectos involucrados. Primero, hay que preguntarse de dónde “proceden” los ancestros de la biota, y la respuesta es que llegaron desde las islas cercanas a Cuba (Antillas Mayores, Islas Caimán y Bahamas), Centroamérica, América del Norte y América del Sur. Por ejemplo, las jutías, iguanas, jicoteas, y un gran número de insectos y plantas, tienen sus parientes más cercanos en América del Sur. Muchas aves y el almiquí tienen sus antepasados, probablemente en América del Norte, en tanto se sabe de algunos reptiles cuyos parientes más cercanos están en América del Sur y América Central. Sin embargo, hay algunas arañas y plantas que están muy emparentadas con especies africanas, tanto de tierra firme, como de Madagascar. Por eso, se puede decir que la biota cubana (todos los organismos indígenas en su conjunto), tiene sus orígenes en los continentes e islas vecinas, pero también en África.

Evolución y extinciones. En el capítulo 5 quedó aclarado que las islas del Caribe son más jóvenes que los continentes cercanos y, en general, que los continentes existen desde antes que la mayoría de las islas. Por eso, es obvio que en algún momento del pasado aparecieron estas islas y estaban deshabitadas, y que a partir de cierto instante comenzaron a ser colonizadas por organismos procedentes de otras islas y continentes. Este proceso de colonización, del cual Cuba es un ejemplo, estuvo determinado por la capacidad de los organismos para trasladarse de una tierra a otra, y por las geografías del pasado (paleogeografías). Desde que un organismo cualquiera llega a una isla, comienza un proceso de adaptación a las nuevas condiciones de vida que puede desencadenar la evolución de la especie precursora.

Las Antillas Mayores en el pasado compartían una población similar, que por causa de las extinciones y la evolución, se fue diferenciando. Por

ejemplo, el cocodrilo cubano (*Crocodylus romblifer*), cuyos restos fósiles se han encontrado en las Islas Caimán y en las Bahamas, donde se extinguió hace algunos siglos. Esto quiere decir que algunas especies, antaño tenían una distribución más amplia que en el presente, y sus áreas de ocurrencia se han restringido a causa de extinciones parciales. Otro ejemplo es el almiquí, cuyos fósiles aparecen en cavernas por toda la isla, mientras los últimos representantes de este curioso mamífero insectívoro habitan solamente las montañas del norte de Cuba oriental. En tiempos remotos, tanto en Cuba como en La Española, habitaron varias especies de perezosos, insectívoros, monos y aves, que se extinguieron (Fig. 6.1), provocando así que la fauna actual sea mucho más pobre en diversidad que hace 5 000 años.

Esta diferenciación entre la fauna de las islas es potenciada por la evolución. Estos procesos determinan que surjan nuevas especies, a partir del momento en que una población determinada, es decir, la población *A*, queda separada en dos o más poblaciones, que se pueden distinguir como *A1*, *A2*, ... *An*. Esta separación tiene lugar cuando una isla grande se subdivide en dos o más islas menores, o cuando una isla que estuvo unida al continente queda aislada por alguna causa geológica. En estos casos, cada una de las poblaciones *A1*, *A2*, ... *An*, evoluciona por separado, sin intercambio genético, y de este modo deriva en especies distintas a la original o se extinguen. Como resultado de este proceso, a partir de una especie original *A* que pudo habitar un extenso territorio en el pasado, se forman varias especies hermanas (*A1*, *A2*, ... *An*), como consecuencia del aislamiento genético y la evolución. Por ejemplo, las iguanas *Cyclura corneta* de La Española, y *Cyclura nubila* de Cuba, tuvieron un antepasado común, del cual evolucionaron en especies independientes. Este antepasado habitó en una isla grande que incluyó a Cuba y a La Española, antes de quedar separadas hace alrededor de 20 millones de años.

¿Desde cuándo lograron asentarse? Otro aspecto que hay que considerar respecto de los orígenes de la biota cubana es su antigüedad, o sea, el tiempo que hace que los primeros invasores de determinado grupo taxonómico se establecieron exitosamente en estas tierras. Esto es importante, pues cuanto más tiempo haya permanecido determinada población aislada de sus congéneres, mayor posibilidad de que se transforme en una especie endémica. Dicho de otro modo, hay más posibilidades de que la especie *A* pueda evolucionar a las especies *A1*, *A2*, ... *An*, cuanto más tiempo estén estas poblaciones aisladas. Para determinar qué tiempo hace que las especies *A1*, *A2*, ... *An* existen, es decir, el tiempo que llevan aisladas de la especie original *A*, se pueden utilizar dos fuentes de información relativamente independientes: la paleontología y la paleogeografía.

La paleontología o paleobiología (estudio de la vida antigua) permite establecer cuándo hubo en estas islas organismos que se puedan considerar emparentados con las biotas actuales. Para ello son necesarios los restos fósiles que aparecen en las rocas. Por ejemplo, en algunas rocas de Pinar del Río se encuentran los más antiguos restos de animales y plantas terrestres de Cuba. Estos incluyen plantas que vivieron en el desaparecido continente Pangea, así como reptiles voladores (pterosaurios) y dinosaurios que habitaron las costas del primitivo Mar Caribe (150 a 180 millones de años) (capítulo 5); pero ninguno de estos organismos tiene representantes en las biotas actuales. La paleontología también demuestra que la mayoría de las biotas antiguas, preservadas en las rocas cubanas, eran marinas y están extinguidas.

Cerca de la presa Zaza en Sancti Spiritus, se excavó un yacimiento de animales y plantas fósiles, cuyos representantes se extinguieron hace algunos cientos o miles de años atrás. En Zaza se encontraron restos fósiles de mamíferos terrestres (monos, perezosos, jutías) y de agua dulce (dugones), con 14 millones de años de antigüedad, así como restos

de reptiles de agua dulce (cocodrilos y quelónios (Figs. 5.10, 5.11, y 6.1).

En los depósitos fosilíferos que aparecen en las cavernas, con 10 000 a 500 años de antigüedad, también hay representantes fósiles de una gran variedad de animales, tales como aves (búhos gigantes, cóndores, halcones), mamíferos (monos, perezosos, jutías, murciélagos), reptiles (cocodrilos, tortugas, lagartos, serpientes), anfibios, insectos y peces de agua dulce. Muchas de aquellas especies están extintas (Fig. 6.1), pero entre ellas hay algunas cuyos descendientes se encuentran en nuestros bosques y lagunas. Por ello, los restos fósiles nos permiten afirmar que, al menos desde hace 20 millones de años ya había en Cuba animales terrestres emparentados con la fauna actual.

Para que exista una biota terrestre, tiene primero que existir una tierra. Parece obvio ¡y lo es! pero lo que no es tan sencillo es determinar desde cuándo hay islas permanentemente emergidas en el Caribe, y su grado de interconectividad. Las investigaciones paleogeográficas del Caribe sugieren que las primeras tierras insulares surgieron hace 140 millones de años. Pero aquellas islas no eran permanentes, pues surgieron y desaparecieron en lo sucesivo. Asimismo, se ha podido determinar que desde hace solo 37 a 40 millones de años atrás existen islas que han permanecido emergidas hasta la actualidad. Por tanto, ninguna biota terrestre antillana actual tiene sus ancestros en una isla antillana anterior a esta fecha.

¿Cómo llegaron hasta estas tierras? Algunas especies de insectos y las aves migratorias pueden trasladarse volando entre las islas del Caribe y los continentes cercanos, de este modo mantienen un intercambio genético estable, como la bijirita. En contraste, aunque los murciélagos vuelan, para ellos el mar representa una barrera infranqueable. Un caso especial engloba a moluscos terrestres, insectos cavernícolas, peces de agua dulce, anfibios, algunos reptiles, y mamíferos terrestres, que no pueden trasladarse con facilidad entre las islas,

puesto que no son buenos nadadores, no pueden vivir en el agua salada o no soportan largas exposiciones al sol y el salitre. Ellos debieron transportarse a estas islas, preferentemente andando por terreno firme pero en las condiciones geográficas actuales eso es imposible. Existen organismos que logran superar las barreras marinas de otras maneras, ya sea traídos por el viento, navegando en “balsas” de vegetación o viajando de “polizontes” sobre otros animales; en estos casos pierden por completo su relación con la tierra de donde proceden.

Los científicos no se han podido poner de acuerdo para explicar por qué vía llegaron los primeros anfibios, mamíferos y demás habitantes a las tierras antillanas. Lo interesante es que una teoría no excluye a la otra, sino que se complementan entre sí. Estas son las siguientes:

- Migrando a través de puentes terrestres.
- Flotando en balsas procedentes de los continentes cercanos (dispersión por mar).
- Volando o contenidos en el polvo (dispersión por aire).
- Como “polizontes” en un animal volador o nadador.

Para poder evaluar estas teorías hay que utilizar las técnicas paleogeográficas (estudio de las geografías del pasado) y el conocimiento de las capacidades de dispersión de las distintas especies de animales y plantas.

Las investigaciones paleogeográficas enseñan que, en el lugar de las Antillas Mayores y la Cresta de Aves, en el pasado, hace 35 a 33 millones de años (Fig. 6.2), existió una cresta generalmente emergida, que comunicó la América del Sur con las Antillas hasta Cuba central, la cual se ha denominado *Gaarlandia*. Este “puente” terrestre pudo ser utilizado por diversos organismos para migrar, desde el continente hasta las Antillas. Otros vinieron tal vez volando a lo largo de esos terrenos emergidos.

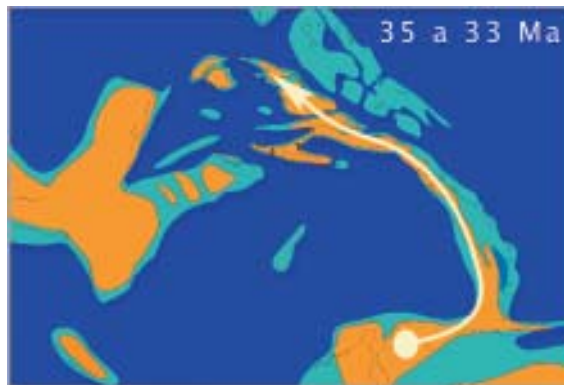


Fig. 6.2: Tránsito Eoceno-Oligoceno. Etapa en que los animales terrestres suramericanos pudieron migrar hasta colonizar Gaarlandia, tierra que incluía los núcleos de las futuras Antillas Mayores. Este paso se interrumpió hace alrededor de 32 millones de años.

No se puede descartar que algunos organismos, en lo fundamental plantas y algunos reptiles, hayan llegado a las islas en “balsas” de terreno desprendidas desde los ríos suramericanos y trasladadas por las corrientes marinas, pero las oportunidades son críticas. El mapa de la trayectoria de las boyas arrojadas al mar en las Antillas Menores, muestra claramente que estos recorridos pueden durar varios meses de este modo los organismos perecerían en el trayecto (Fig. 6.3).

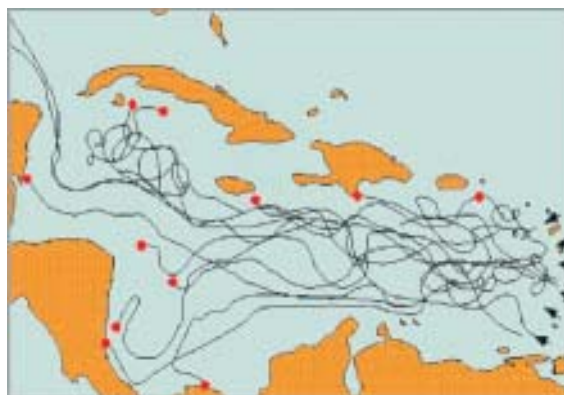


Fig. 6.3: Trayectorias de una serie de boyas con registro satelital (GPS), desde su lanzamiento en las Antillas Menores hasta que dejaron de transmitir. Se constata que estas boyas recalieron en casi todas las costas del Caribe y llegaron al Golfo de México.

En conclusión, es evidente que la biota cubana tiene distintas fuentes de origen y que estuvo formándose durante un período extenso —al menos, desde hace 40 millones de años—, a partir de que surgieron los primeros terrenos que se han mantenido emergidos hasta el presente. En este contexto, cada grupo taxonómico llegó y se estableció en es-

tas tierras, según sus capacidades de dispersión y su competitividad, y evolucionó de acuerdo con estos (y otros) factores biológicos y geográficos, incluidos los cambios climáticos, el aislamiento de las poblaciones, las modificaciones de la configuración de las tierras, etcétera.

Riesgos naturales de origen geológico

*Dr. Berta González Raynal
Dr. Tomás Chuy Rodríguez
Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent*

Los eventos de naturaleza geológica son fenómenos naturales que reflejan los procesos generados en el interior de la tierra y en el espacio exterior. En especial, interesan los eventos que pudieran representar amenazas potenciales para la sociedad, pero el problema principal está en las limitaciones para predecirlos con precisión, y en las consecuencias letales que se derivan de estos. Lo más peligroso es el grado de desconocimiento que existe, a diversos niveles, sobre estos *riesgos*.

Este capítulo expone aspectos importantes relativos a los eventos geológicos más comunes y las amenazas que estos conllevan, con la aspiración de que este conocimiento contribuya a reducir la vulnerabilidad de la sociedad.

Eventos geológicos que implican amenazas

Los *eventos geológicos* son procesos que pueden ocurrir de una manera lenta o súbita. Sin embargo, unos y otros pueden resultar igualmente letales, en dependencia de determinados factores que se analizan más adelante.

Los eventos lentos o acumulativos son aquellos que se desarrollan durante un período largo, por lo cual sus efectos no son muy evidentes a simple inspección. La afectación de los eventos lentos al entorno y a la sociedad, ocurre por acumulación, por añadidura, en decenas y miles de años. Por ejemplo, la presencia de pequeñas concentraciones de sustancias nocivas en rocas, suelos y aguas naturales, no se puede detectar, sino mediante estudios específicos; sin embargo, pueden alcanzar niveles nocivos para la salud, a causa del consumo de aguas y vegetales procedentes de medios contaminados. Otros eventos lentos son los movimientos seculares del terreno, que tienen lugar a velocidades que se miden en *milímetros por año*, pero con el tiempo pueden provocar cambios importantes en el relieve y afectar las edificaciones, las costas o el curso de los ríos.

En contraste, los eventos súbitos, por lo general catastróficos, son aquellos que tienen lugar por la liberación, en breve tiempo, de alguna energía del interior de la tierra, que se traduce en erupciones volcánicas, terremotos, derrumbes, deslizamientos, etc. Algunos eventos geológicos tienen su

origen en el espacio exterior, desencadenados por la caída de objetos extraterrestres, como los meteoritos.

En la tabla 7.1 se resumen algunos tipos de eventos geológicos que potencialmente significan ame-

nazas para la sociedad y el medio ambiente, y algunas de sus causas, áreas de riesgo y grado de predictibilidad.

En lo sucesivo se examinan los eventos geológicos potencialmente negativos más comunes en Cuba.

TABLA 7.1

Eventos geológicos potencialmente peligrosos para la sociedad

Tipo de evento	Causas principales	Áreas de riesgo	Grado de predictibilidad
Erupciones volcánicas y fumarolas	Transformaciones físico-químicas en el interior de la Tierra	Zonas volcánicas activas y latentes	En Cuba, no se espera que ocurran erupciones volcánicas en el futuro.
Terremotos	Erupciones volcánicas y fallas tectónicas	Zonas sismoactivas en los contornos de las placas tectónicas y zonas de tensiones a lo largo de fallas	Los terremotos aún no se pueden predecir a corto plazo, pero sí se puede establecer zonas con distintos tipos de peligrosidad, según los datos históricos y características geólogo-geofísicas.
Tsunamis (maremotos)	Terremotos, derrumbes, impactos de meteoritos	Zonas costeras bajas, sobre todo en las márgenes de los mares profundos	Los maremotos pueden tener una variedad de causas, de modo que son muy difíciles de pronosticar. Se pueden predecir a corto plazo, si se establecen sistemas especiales de observación. No obstante, se pueden cartografiar las costas con peligrosidad sobre la base de investigaciones históricas y geológicas, así como mediante el modelado matemático de eventos hipotéticos.
Transformaciones costeras por los movimientos del terreno	Tectónica	Zonas costeras en regiones tectónicamente activas	Dado que estos movimientos son lentos (<i>mm/año</i>), es posible establecer su tendencia y tomar previsiones a mediano plazo.
Derrumbes de las paredes de las terrazas marinas	Alteración de las rocas, carso, fracturas y acción de la gravedad; ocurrencia de terremotos, tormentas pluviales o maremotos	Paredes verticales de las terrazas marinas	Difíciles de predecir, a menos que se establezcan sistemas especiales de monitoreo; sin embargo, las investigaciones geomorfológicas e ingeniero-geológicas pueden determinar los taludes inestables y establecer zonas de peligrosidad.
Derrumbes de laderas montañosas	Alteración de las rocas, fracturas y acción de la gravedad	Laderas montañosas de pendientes abruptas asociadas a fallas y ocurrencia de terremotos o tormentas pluviales	Difíciles de predecir, a menos que se establezcan sistemas especiales de monitoreo. Las investigaciones geomorfológicas e ingeniero-geológicas pueden determinar los taludes que presentan peligrosidad.

Deslizamientos de lodo y piedras	Alteración de las rocas y acción de la gravedad y la lluvia	Zonas montañosas asociadas a deshielos y tormentas pluviales	Difíciles de predecir, a menos que se establezcan sistemas especiales de observación. Las investigaciones geomorfológicas e ingeniero-geológicas pueden determinar las áreas montañosas que presentan peligrosidad.
Desplomes de cavernas	Disolución de las calizas y acción de la gravedad	Zonas de desarrollo de rocas calcáreas carstificadas	Difíciles de predecir, a menos que se establezcan sistemas especiales de observación. Las investigaciones carstológicas, espeleológicas e ingeniero-geológicas pueden determinar los terrenos que presentan peligrosidad.
Dispersión de contaminantes a grandes distancias a lo largo de grietas y ríos subterráneos	Desplazamiento de las aguas en el interior de los macizos de rocas	Zonas de desarrollo de rocas calcáreas carstificadas	Difíciles de predecir, a menos que se establezcan sistemas especiales de monitoreo de las aguas. En general se pueden limitar, si se eliminan o se minimizan los vertimientos de contaminantes en las zonas de alimentación de los acuíferos.
Concentraciones naturales de elementos potencialmente tóxicos en aguas, suelos y atmósfera	Composición química de las rocas y aguas	Rocas o manantiales con altas concentraciones naturales de sustancias radioactivas o venenosas	Difíciles de predecir, a menos que se efectúen investigaciones especiales. Se puede empezar por compilar y procesar los datos de las investigaciones de prospección geoquímica.
Colapsos totales o parciales de edificios, represas, embalses, puentes y túneles	Estudios ingeniero-geológicos incompletos y(o) medidas inadecuadas de aseguramiento y protección de las construcciones	Obras civiles fabricadas sin estudios previos adecuados del terreno ni observaciones periódicas durante la explotación de la obra	Pueden evitarse realizando estudios adecuados, antes y durante la construcción, y manteniendo un monitoreo durante la explotación de las obras.

Erupciones volcánicas

En Cuba no hay peligro de ocurrencia de *erupciones volcánicas*, pues no existen las condiciones geológicas para ello. El último sistema volcánico que hizo erupción (hace más de 40 millones de años) se reconoce en la región suroriental, pero en el presente solo tiene interés científico. Tampoco existen evidencias de que puedan generarse erupciones volcánicas en el futuro.

Terremotos

Los *terremotos* están entre los eventos geológicos más conocidos, por ello existen registros y mapas

de las zonas de mayor o menor frecuencia de ocurrencia de estos fenómenos. Los mapas de ocurrencia de terremotos muestran que en Centroamérica, el Caribe y Suramérica hay franjas alargadas, donde son muy comunes los terremotos potencialmente destructivos.

El mismo hecho de saber que puede ocurrir un terremoto de determinada magnitud en un intervalo de tiempo (definidos en los mapas de ocurrencia de terremotos), es suficiente para que se tomen medidas de prevención con carácter obligatorio. Sin embargo, siempre es poco lo que se haga con vistas a reducir la vulnerabilidad de las comunidades enclavadas en zonas amenazadas por estos eventos,

tanto en términos de educación, como de prevención, que casi siempre dependen del cumplimiento estricto de las regulaciones existentes. Hoy día se trabaja en la creación de sistemas de alarma temprana, pero falta mucho por avanzar en este sentido; por ello, la mejor solución es la prevención.

Los terremotos son fenómenos naturales de comienzo súbito, causados por la rápida liberación de la energía acumulada como consecuencia de las deformaciones en la corteza terrestre. Estos constituyen un desprendimiento de energía que se irradia en forma de oscilaciones elásticas del terreno (ondas sísmicas). Está comprobado que las rocas de la corteza terrestre, al ser sometidas a esfuerzos tectónicos que sobrepasan el límite de elasticidad de las rocas, se deforman y se fracturan a lo largo de fallas, cuyo desplazamiento genera ondas elásticas (Fig. 7.1).

En los terremotos se distinguen las estructuras geológicas que los generan, que son generalmente fallas y volcanes. El *hipocentro* marca el punto central en la profundidad de la tierra, donde se libera la energía y el *epicentro* es un punto imaginario localizado en la superficie del terreno sobre el *hipocentro*. La importancia del epicentro es que se utiliza para indicar en los mapas la distribución de los terremotos (Fig. 7.2). Los sismólogos estudian un número de características de estos eventos, que incluyen, entre otros parámetros la estructura a que están asociados, el mecanismo del terremoto, la dirección preferente en que se liberó la energía, el medio rocoso por el cual se desplazaron las ondas de distinto tipo y las características del suelo donde se manifestó el terremoto. Los interesados en profundizar acerca de estos conocimientos, deben remitirse a obras de sismología y de geología estructural.

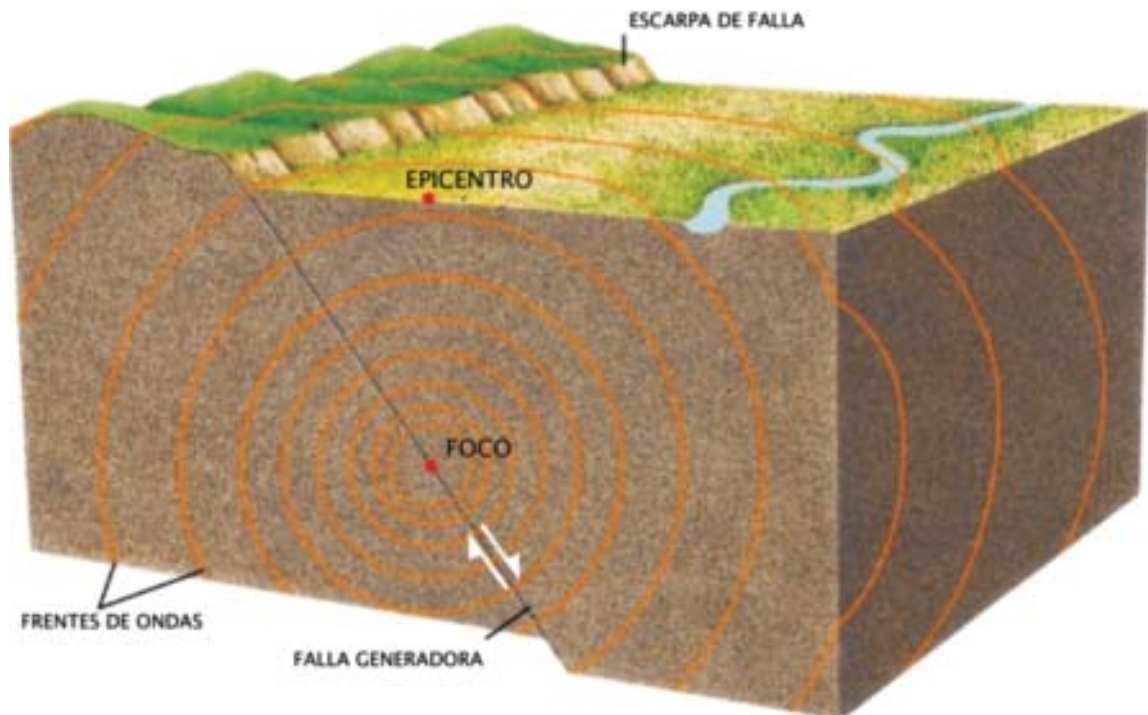


Fig. 7.1: Maqueta de una falla generadora de terremotos (sismogeneradora). Se muestra la posición del foco (hipocentro) y el epicentro, así como la dispersión de los frentes de ondas elásticas. (Tomado de *Understanding Earth*).

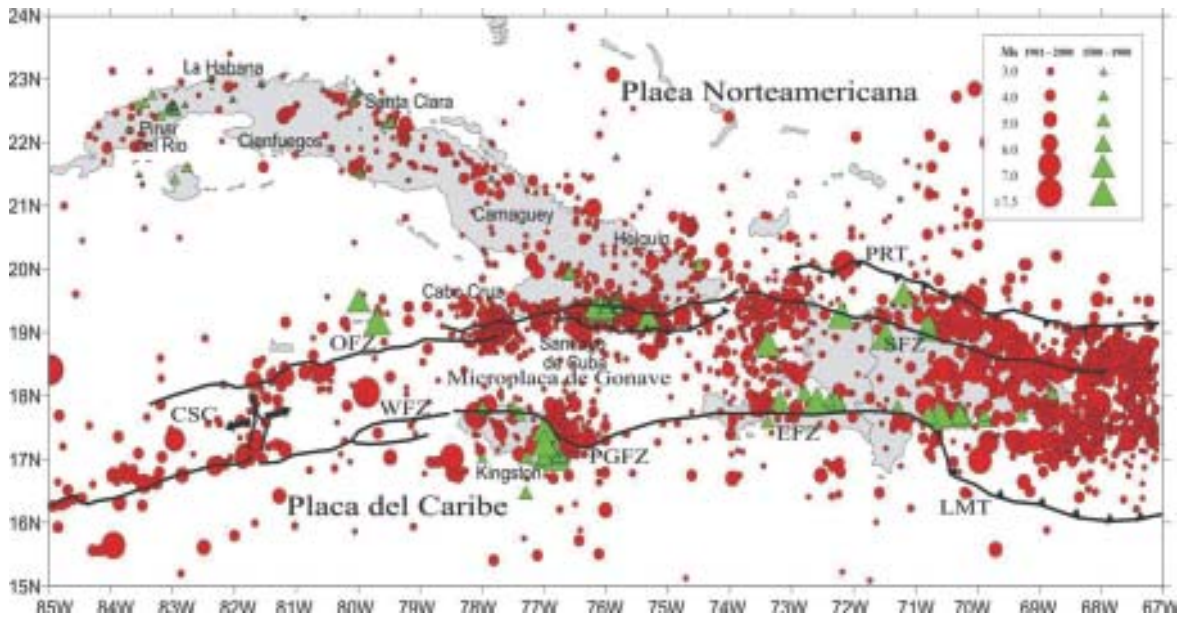


Fig. 7.2: Epicentros de los terremotos registrados en las Antillas Mayores. El tamaño del símbolo (esfera o triángulo) refleja la magnitud del evento. Es evidente que en Cuba oriental se concentran los terremotos de mayor magnitud; en el resto de la isla se presentan focos de menor magnitud. (Cortesía del CENAIIS).

Estos fenómenos naturales constituyen una amenaza severa, a causa de las irregularidades de los intervalos temporales en que se manifiestan y la imposibilidad de predecir con exactitud el momento de su ocurrencia. Algunos pronósticos de sismos severos están basados en las observaciones sobre efectos premonitorios sismológicos y no sismológicos previos a la ocurrencia de terremotos, aunque no tengan con estos una relación directa de causalidad. Entre estos fenómenos figuran los cambios bruscos de la actividad microsísmica, las deformaciones de la superficie de la tierra, las variaciones en los campos magnéticos y eléctricos, la elevación o la disminución súbita del nivel del agua en los pozos, los cambios en el campo gravitatorio, o el comportamiento anómalo de los animales.

Es importante señalar que el científico que realiza la predicción de un terremoto u otro evento pe-

ligroso, asume una gran responsabilidad personal y social, pues, un pronóstico acertado salva muchas vidas y propiedades, pero cualquier imprecisión puede traer consecuencias graves si implica la movilización de recursos sin un verdadero peligro. Por lo anterior, es necesario continuar investigando y acumulando información, para lograr incrementar el nivel de precisión de los futuros pronósticos. El riesgo sísmico se estima en función de las pérdidas materiales o de vidas humanas que pudiera ocasionar un sismo de una intensidad determinada. Para ello, se utilizan una serie de indicios que incluyen los datos históricos, la recurrencia de los terremotos perceptibles, la longitud, la profundidad y el mecanismo de las fallas sismogeneradoras, los tipos de rocas y de suelos, el relieve, y el tipo de edificaciones existentes en cada zona. Puesto que los sismos pueden inducir o servir como un “disparador” de otros eventos geológicos negativos (de-

rrumbes, desplomes, deslizamientos, modificaciones del relieve y el drenaje, maremotos, etc.), en los estimados de peligrosidad hay que tener en cuenta estas posibilidades.

Para evaluar y pronosticar la peligrosidad sísmica de un evento en un territorio, se utiliza una escala de magnitud (Tabla 7.2).

TABLA 7.2

Escala de magnitud de los terremotos, adaptada por T. Chuy Rodríguez

1	Imperceptible, pues solo se detecta por los equipos
2	Apenas perceptible, muy leve
3	Débil
4	Considerablemente sentido
5	Fuerte
6	Daños ligeros
7	Daños en edificios
8	Dstrucción de algunos edificios
9	Daño general en edificios
10	Dstrucción general de edificios
11	Catástrofe
12	Catástrofe, con cambios en el relieve

Sismicidad de Cuba

La *sismicidad* de Cuba representa la posibilidad de ocurrencia de terremotos en el territorio nacional. Se vincula con los mecanismos generadores de sismos que en Cuba son los desplazamientos del terreno a lo largo de fallas. Al respecto se puede señalar que en el territorio cubano ocurren terremotos en las dos condiciones generales siguientes:

1. Provocados por los movimientos a lo largo del plano de la falla Oriente-Caimán y fracturas asociadas.
2. En las fallas activas que se encuentran en el resto del país.

El mapa de los terremotos registrados instrumentalmente muestra cómo estos tienen lugar en toda Cuba, aunque los de mayor magnitud e intensidad

se vinculan al sistema de la falla Oriente, situada al sur de la Sierra Maestra (Fig. 7.2). La explicación apunta a que se trata de un conjunto de fallas de rumbo W-E, con desplazamiento izquierdo a lo largo de su rumbo, de manera que el territorio cubano avanza a razón de 15 mm/años al noroeste respecto del resto del Caribe. Asimismo, en el mapa se observa un grupo de epicentros dispersos por todo el país, aunque, salvo raras excepciones, su intensidad y magnitud son moderadas. Estos terremotos están relacionados con fallas de distinta longitud, cuyo mecanismo más frecuente es de desplazamiento vertical muy lento, donde los terrenos a ambos lados de la falla descienden o ascienden con respecto al otro, a una velocidad siempre mucho menor de 15 mm/a. Solo unas pocas fallas de rumbo general NE-SW tienen desplazamiento por el rumbo, pero igualmente de baja intensidad (Fig. 2.11).

Esto significa que en nuestro archipiélago no existe el mismo nivel de actividad en todas sus partes, donde se destaca la región sudoriental que presenta la mayor peligrosidad sísmica. En esta región se han generado veintidós terremotos fuertes, y muy en especial dos ocurridos en Santiago de Cuba, uno que alcanzó en 1766 una intensidad (I) de 9.0 MSK y magnitud (M) Richter de 7.6 y otro, en 1852 con magnitud de 7.3. Los más recientes que han afectado a toda la región oriental, ocurrieron en 1932 (M = 6.75; I = 8.0), 1947 (M = 6.75; I = 7.0), 1976 (M = 5.7; I = 8.0) y en el año 1992 (M = 7.0; I = 7.0).

El Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas ha elaborado una serie de mapas pronóstico de peligrosidad sísmica del territorio nacional, que constituyen el Código Sísmico Cubano (NC 46:99).

Los mapas representados en la figura 7.3 caracterizan la amenaza sísmica del país. Estos revelan un patrón por zonas, desde un mayor peligro en el sureste de Cuba, el cual disminuye rápidamente hacia el norte y el oeste, puesto que en la mayor parte del país la intensidad más probable (de acuerdo con la

escala MSK, de 10 grados) es menor de 7 grados. Estos estimados se corroboran al analizar la tabla 7.3, donde se relacionan terremotos históricos mayores de 7 grados, entre los cuales solo se han re-

gistrados fuera de Cuba suroriental; son el ocurrido en San Cristóbal, que afectó intensamente ese poblado pinareño y el de Remedios-Caibarién, en Cuba central.

TABLA 7.3

Terremotos reportados en Cuba con intensidades mayores o iguales que 7,0 (MSK)

Año	Latitud N	Longitud W	Magnitud	Intensidad	Localidad
1551	(20°40')	(76°60')	(5,8)	8,0	Bayamo
1578	(19°90')	(76°00')	(6,8)	8,0	Santiago de Cuba
1580	(19°90')	(76°00')	(5,8)	7,0	Santiago de Cuba
1624	(20°40')	(76°00')	(5,2)	7,0	Bayamo
1675	(19°90')	(76°00')	(5,8)	7,0	Santiago de Cuba
1678	(19°90')	(76°00')	(6,8)	8,0	Santiago de Cuba
1682	(19°90')	(76°00')	(5,8)	7,0	Santiago de Cuba
1752	(19°90')	(76°00')	(5,8)	7,0	Santiago de Cuba
1760	(19°90')	(76°00')	(6,8)	8,0	Santiago de Cuba
1766	(19°80')	(76°10')	(7,6)	9,0	Santiago de Cuba
1775	(19°90')	(76°00')	(5,8)	7,0	Santiago de Cuba
1826	(19°90')	(76°00')	(5,8)	7,0	Santiago de Cuba
1842	(19°90')	(76°00')	(6,0)	7,0	Santiago de Cuba
1852	(19°77')	(75°35')	(7,3)	9,0	Santiago de Cuba
1852	(19°50')	(76°25')	(7,0)	8,0	Santiago de Cuba
1858	(19°90')	(76°00')	(6,5)	7,0	Santiago de Cuba
1880	(22°70')	(83°00')	(6,0)	8,0	San Cristóbal
1903	(19°90')	(76°00')	(5,7)	7,0	Santiago de Cuba
1906	(19°65')	(76°25')	(6,2)	7,0	Santiago de Cuba
1914	(21°22')	(76°17')	(6,2)	7,0	Gibara
1914	(19°45')	(76°30')	(6,7)	7,0	Santiago de Cuba
1926	(20°30')	(77°10')	(5,4)	7,0	Manzanillo
1930	(19°90')	(76°00')	(5,8)	7,0	Santiago de Cuba
1932	19°80'	75°80'	6,75	8,0	Santiago de Cuba
1939	22°50'	79°25'	5,6	7,0	Remedios y Caibarién
1947	19°90'	75°30'	6,75	7,0	Santiago de Cuba
1976	19°87'	76°87'	5,7	8,0	Pilón
1992	19°62'	77°70'	7,0	7,0	Cabo Cruz

NOTA: Los valores entre paréntesis son estimados. La intensidad se determina por los daños causados y la magnitud mide la energía del sismo.

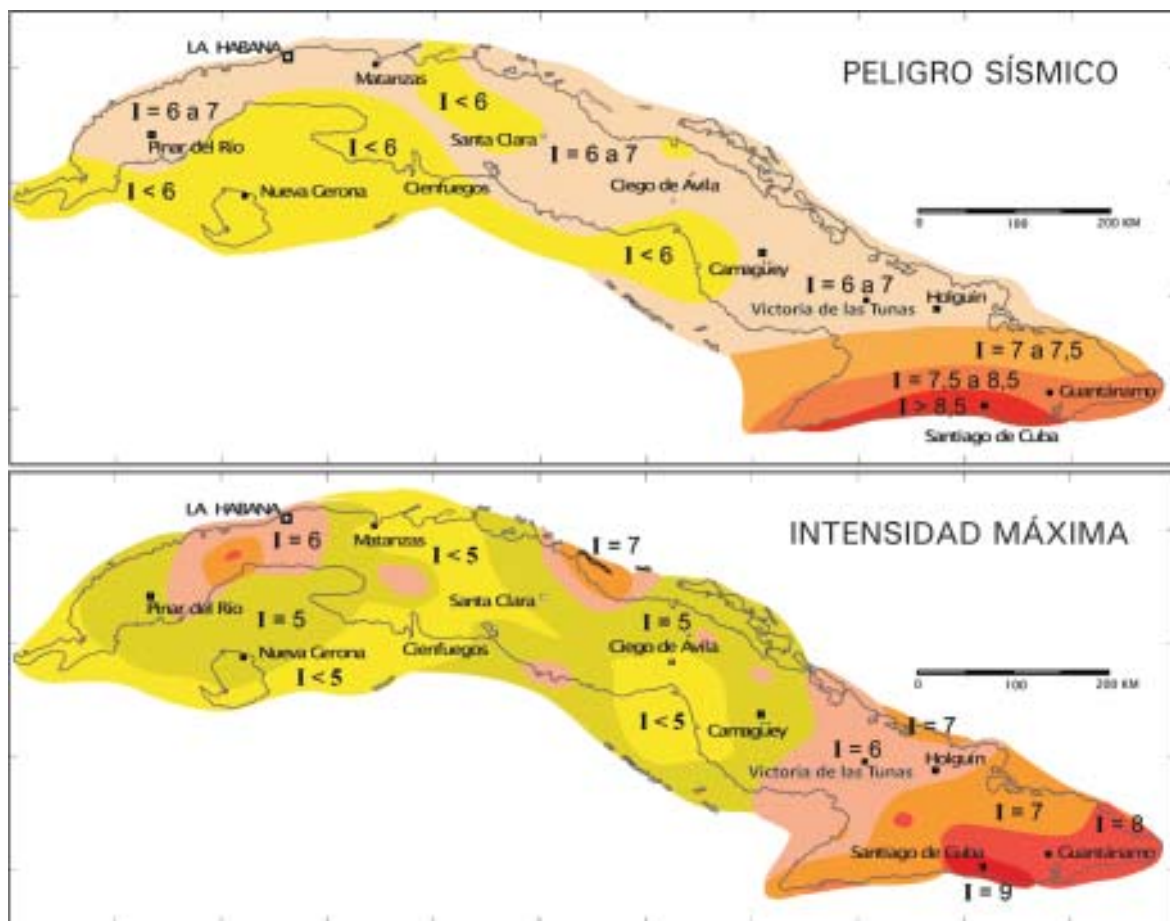


Fig. 7.3: Peligro sísmico e intensidad máxima de terremotos reportados en Cuba.

Tsunamis

Los *tsunamis* son olas marinas que al llegar a las costas devienen en maremotos. Su origen está dado por terremotos, erupciones volcánicas y derrumbes (costeros o submarinos). Sin embargo, un tsunami es muy difícil de pronosticar con suficiente antelación, puesto que no necesariamente todo terremoto, erupción volcánica o derrumbe submarino genera la energía capaz de crear una ola de tsunami. También influyen las dimensiones y la topografía de los cuerpos de agua donde ocurre el evento generador, las dimensiones de los mares por donde se propagan las olas, y la morfología de las costas. Por eso, los sistemas de prevención se basan en la determinación de las zonas amenazadas, la disminución de la vulnerabilidad en esas áreas, y la creación de sistemas de alarma temprana. En algunos países se ha comenzado a construir las comunidades costeras con el criterio de facilitar la evacuación y de reducir el impacto de las olas sobre las edificaciones, lo que constituye la solución más adecuada para este problema.

Estas olas marinas se generan por un movimiento vertical súbito del lecho oceánico —a manera de pistón—, que produce el desplazamiento rápido de una gran masa de agua. La ola viaja con una rapidez que depende de la profundidad del agua. En el océano abierto, por ejemplo, su velocidad es muy grande, pudiendo alcanzar 700 km/h. A medida que la profundidad del agua disminuye, cerca de las costas, el tsunami comienza a viajar más lentamente, sin que se afecte mucho la cantidad de energía del tsunami, que depende, tanto de su velocidad, como de su altura. Por consiguiente, cuando la velocidad disminuye, al viajar por aguas poco profundas, la altura y la capacidad destructiva de la ola aumentan. De acuerdo con este razonamiento, una ola de tsunami puede ser imperceptible mar adentro. Se conocen tsunamis que han alcanzado 30 m de altura a su arribo a la costa. La ola comienza a perder energía al penetrar tierra adentro, a causa, en lo fundamental, de la fricción con el terreno y la

turbulencia generada. A pesar de esta pérdida de energía, los tsunamis pueden acarrear grandes piedras hacia la costa, arrasar con la arena de las playas y la vegetación costera (Fig. 7.4), provocando la destrucción de viviendas y demás instalaciones.

Los tsunamis generados por grandes terremotos, como en los océanos Pacífico e Índico, suelen afectar zonas costeras muy distantes de su lugar de origen, por lo que reciben el nombre de tsunamis globales o teletsunamis. Por ejemplo, el terremoto de Chile, en 1960 ($M=9,5$), generó un tsunami que atravesó el Océano Pacífico y arrasó las costas de Japón, a casi 17 000 km de distancia.

En la región del Caribe, a la que pertenece Cuba, han ocurrido tsunamis de menor envergadura, pues no se conocen olas mayores de seis metros. Estos han sido causados por terremotos en el arco de las Antillas Menores, Haití, el noreste de República Dominicana, Puerto Rico y Jamaica. Afortunadamente, en Cuba no hay reportes históricos de daños asociados a olas de tsunamis, no obstante, el gran terremoto de Lisboa, en 1755, generó un teletsunami que produjo algunas afectaciones en las Antillas Menores y se registraron olas de tres metros de alto en la región oriental cubana. De igual modo, se produjo un fuerte oleaje en las playas del litoral norte del centro y el occidente del país, como consecuencia del terremoto ($M=8,1$) del 4 de agosto de 1946, con epicentro en República Dominicana. Este sismo, que alcanzó 9,0 grados de intensidad cerca del epicentro, fue perceptible en varias localidades de la región oriental de Cuba. La fuente sismogeneradora principal en el Caribe occidental, está constituida por las fallas que delimitan la trinchera Bartlett-Caimán (Fig. 7.2), cuyo movimiento lateral izquierdo no es un mecanismo que favorezca la generación de terremotos tsunamogénicos, aunque ello no significa que esté descartada la posibilidad de que se produzca alguno.

Para conocer mejor las perspectivas de ocurrencia futura de tsunamis en las costas cubanas existen otros dos métodos: el geológico y el modelado digital. El método geológico consiste en buscar evi-

dencias de maremotos en el pasado, que pudieran haber ocurrido antes de que comenzara el registro histórico. En este sentido, debe apuntarse que en las costas meridionales de Guanahacabibes, la Isla de la Juventud, los cayos del sur de Camagüey y en Guamá, al sur de Oriente, se han observado enormes bloques de roca caliza coralina (de hasta 6 ó 7 m³) arrojados por el mar hasta 50 m de distancia de la costa. Este tipo de bloque también se observa en la costa norte, pero de menores dimensiones (Fig. 7.4). En otras costas del Caribe también hay grandes bloques que han sido proyectados

por el mar, por ejemplo, la costa sur de la isla de Bonaire, en el litoral venezolano (Fig. 7. 4). Sin embargo, no se ha podido determinar con seguridad absoluta si estos fueron lanzados por maremotos (originados por huracanes) o por olas de tsunami. En cualquier caso, la presencia de estos bloques es una indicación fehaciente de que en algún momento del pasado, enormes olas, con gran capacidad de carga, chocaron contra esas costas. Por ello, debe evitarse realizar construcciones en las cercanías del litoral en esos lugares, pues “lo ocurrido en el pasado, puede repetirse en el futuro”.



Fig. 7.4: Bloques de roca caliza movilizados por el oleaje (huracanólitos) en las costas de Cuba y de Bonaire: 1. Bloques sobre la segunda terraza, a 10 m de altura y 30 m de la costa actual (Guanahacabibes). 2. Bloque sobre la primera terraza emergida, a 50 m de la costa, donde se encuentra una caleta del mismo tamaño y forma (cayo Piedra Grande, Camaguey). 3. Bloques medianos de caliza sobre la primera terraza, a 50 m de la costa (costa norte de Matanzas, antes de Varadero). 4. Enorme bloque de caliza, desplazado por un huracán, en la costa sur de la isla Bonaire (Antillas de Venezuela). (Tomado del USGS). Otros bloques de dimensiones similares se encuentran por varias decenas en la costa sur de Cuba oriental, en las cercanías de Guamá.

Tomando en cuenta los datos históricos, la presencia de grandes bloques de rocas expulsados por el mar, la morfología costera y submarina, y los resultados de una serie de animaciones generadas por computadoras, se ha elaborado el *Mapa pronóstico preliminar de tsunamis*, que muestra las costas que pudieran ser afectadas por olas de tres a seis metros de altura, en un término de cinco a diez horas a partir de la ocurrencia de un terremoto de gran magnitud en el Caribe occidental (Fig. 7.5). Este mapa tiene solo carácter orientativo, puesto que para tomar medidas concretas han de consultarse los informes confeccionados para este fin y que están en manos de la Defensa Civil.

Transformaciones costeras

El conocimiento adquirido sobre los cambios globales inducidos por las emisiones de gases de efecto invernadero, ha provocado alarma y preocupación porque constituyen una amenaza para las zonas costeras e islas pequeñas si se produjera una elevación del nivel del mar. Ahora bien, las *transformaciones costeras* no dependen solo de los cambios de la cota del mar, ni estos cambios se deben únicamente a la emisión de gases de efecto invernadero.

Durante miles de millones de años, sobre la Tierra han actuado dos fuerzas principales, que han provocado cambios en las líneas costeras. Estas son las siguientes:

1. Los movimientos del terreno.
2. Las oscilaciones climáticas.

Los *movimientos del terreno* (movimientos tectónicos) pueden, tanto hundir, como elevar el terreno en las zonas costeras, provocando un incremento de las tierras emergidas (levantamientos) o una reducción o desaparición de estas (hundimiento). Por otra parte, el crecimiento o la reducción de los hielos polares, ocasionado por *variaciones climáticas* asociadas con la modificación secular de los parámetros orbitales del planeta, ha provocado en el pasado, el aumento o la reducción del volumen de agua de los océanos y, en consecuencia, cambios del nivel del mar. En este momento, y desde hace varios miles de años, los océanos están aumentando su volumen por el derretimiento natural de los hielos (Fig. 7.6). Sin embargo, las inundaciones costeras son más notables en aquellas costas en las cuales ocurren movimientos de



Fig. 7.5: Costas donde existen bloques de caliza expulsados por el oleaje. Se representa el trazado tentativo de las costas con amenaza de maremoto (roja, hasta 6 m, y naranja, hasta 3 m de altura) y los bordes de la plataforma insular con peligro de ocurrencia de deslizamientos submarinos que pudieran provocar maremotos.

descenso del terreno, o donde los movimientos de levantamiento son extremadamente lentos.

En otras palabras, el escenario de riesgo costero por inundación del mar se debe a la combinación de los efectos del calentamiento del clima, la reducción de los hielos polares, el aumento del volumen de los océanos, y el descenso del terreno en las zonas costeras. Esto significa que, aunque se controlen las emisiones de gases de efecto invernadero, las transformaciones de las costas (e islas) seguirán teniendo lugar a causa de los movimientos del terreno y los cambios naturales del clima terrestre. Por ello, es necesario establecer las tenden-

cias y la velocidad de los movimientos de los terrenos en las zonas costeras, a fin de conocer dónde pueden ocurrir avances (inundación) o retrocesos (deseccación) de la línea de costa, y con qué intensidad. Solo así se podrá trazar una estrategia a largo plazo para proteger las comunidades enclavadas cerca del mar. Otro problema es la vulnerabilidad ante estos procesos, que es el resultado de la combinación de esas causas naturales y otras sociales. La medida de prevención más eficiente es la construcción de edificaciones por encima de cierta altura —definida localmente— y promover el decrecimiento poblacional en las zonas más amenazadas.

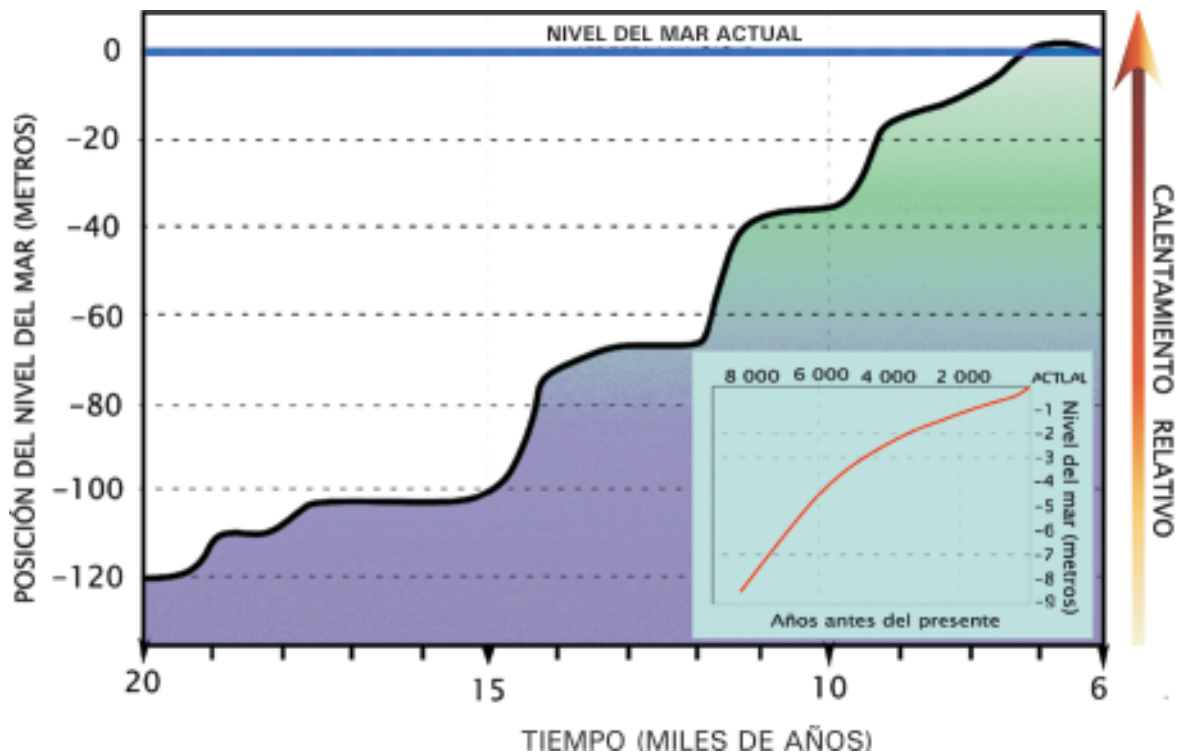


Fig. 7.6: Posición del nivel del mar desde hace 20 000 años (máximo glacial), cuando estaba a 120 m por debajo del nivel actual. Se observa cómo se ha levantado escalonadamente el nivel del mar en esta etapa interglacial, dando lugar a la inundación de la plataforma insular cubana. El gráfico anexo reafirma esta tendencia en los últimos 8 000 años. (Adaptado de la revista *Science*).

Protección de la plataforma insular y de las costas

En la actualidad, el nivel del mar continúa en ascenso, determinando que la línea de costa siga modificándose en la isla de Cuba, la isla de la Juventud, y en los cayos adyacentes. En los párrafos siguientes se resumen las observaciones efectuadas en algunas costas cubanas.

Las costas de emersión, donde la velocidad de levantamiento del terreno por los movimientos tectónicos supera la velocidad de ascenso del nivel del mar, presentan una serie de terrazas emergidas (Capítulo 3). En estas zonas, la tierra le está ganando espacio al mar, y la fuerza del oleaje encuentra un obstáculo creciente en los acantilados costeros. En estos tramos se constata la formación de caletas vinculadas al transporte de grandes bloques de roca tierra adentro durante eventos de oleaje intenso (cayos Piedra Grande y Piedra Chica, al sur de Camagüey, o en la costa sur de Guanahacabibes) (Fig. 7.4). Este es un escenario apropiado para que ocurran frecuentes desprendimientos de bloques (Capítulo 3), tal como se muestra en las imágenes de la figura 7.7.

En otros tramos de la costa cubana se encuentran humedales y zonas bajas, como en el sur de La Habana, donde la velocidad de levantamiento del terreno por los movimientos neotectónicos es menor que la velocidad de ascenso del nivel del mar. Esto provoca la destrucción de los humedales y las playas, como revelan las afectaciones a las playas del Cajío y de Surgidero de Batabanó (Fig. 7.8). Algunos manglares como esos están siendo desmontados naturalmente por la acción del oleaje, en este proceso se forman amplias ensenadas y playas areno-fangosas (tramo costero del sur de Camagüey). El levantamiento del nivel del mar también afecta las playas, como se confirma en los cayos Largo del Sur y Guillermo, donde las dunas fósiles que en el pasado estaban en el interior del cayo, en la actualidad son erosionadas por el mar al estar expuestas a la acción directa del oleaje.

Estos procesos naturales son reforzados por la acción del hombre cuando se llevan a cabo construcciones civiles, y se siembran barreras de pinos y casuarinas cercanas a la costa. En estos ejemplos, la erosión del mar se potencia al ser alterada la dinámica litoral, lo que produce incisiones en la línea costera y la destrucción de las propias edificaciones (Fig. 7.8).

Hay muchas lecciones por aprender del devenir histórico-geológico del territorio marino y costero. Por ejemplo, no se deben tomar medidas de *protección* de las costas, sin antes conocer bien cuáles son los procesos naturales que están teniendo lugar, y cómo ha sido la evolución de esas zonas en los últimos 20 000 años. Sin embargo, estos procesos no son homogéneos para todas las áreas de la plataforma insular, pues los movimientos del terreno (neotectónicos) pueden presentarse localmente, más o menos acelerados. Por ejemplo, dentro de los límites de la plataforma meridional de Camagüey, donde ocurre, por lo general, el descenso relativo del terreno, hay tramos que se están levantando a gran velocidad. Los cayos de Orihuela son un caso característico, pues estos son macizos coralinos que se están elevando y convirtiéndose en pequeños cayuelos. Esto demuestra que hay que estudiar cada caso aisladamente, y no generalizar metodologías de acción sobre costas y cayos, aunque hayan resultado favorables en un lugar determinado de nuestra plataforma insular. Dicho en otras palabras, es un sistema dinámico, en pleno proceso de transformación natural y para actuar sobre ella hay que tener muy en cuenta su evolución histórica, los procesos actuales y elaborar un pronóstico sobre las tendencias futuras.

Intemperismo

El *intemperismo* es un proceso que generalmente degrada las rocas, cambia su composición, reduce su resistencia y eventualmente conduce a la formación del suelo. En Cuba se presenta muy activo a causa de la fuerte irradiación solar, los cambios de temperatura, las frecuentes lluvias y la presencia de micro-

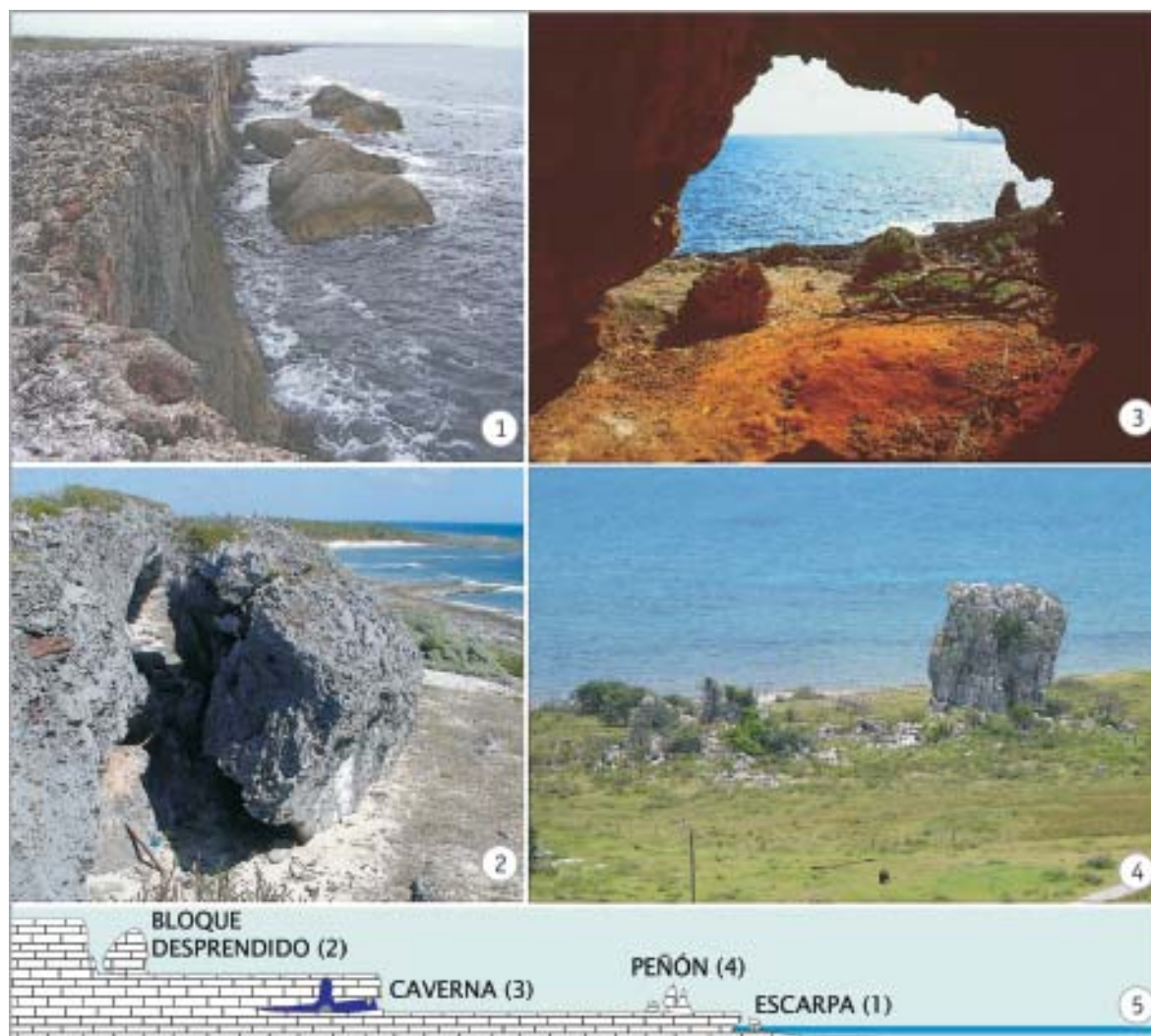


Fig. 7.7: Transformación de las costas rocosas: 1. Escarpa de derrumbe de la segunda terraza emergida, con bloques desprendidos de la pared (costa sur de Guanahacabibes). 2. Bloque recién desprendido de la segunda terraza emergida (costa sur de Guanahacabibes). 3. Caverna que penetra debajo de la segunda terraza emergida (costa norte, cercanías de La Jijira, La Habana). 4. Peñón del Fraile, restos de la erosión (recesión) de la segunda terraza emergida (costa norte de La Habana, proximidades de Santa Cruz del Norte). 5. Perfil de la costa norte de La Habana; se observan los distintos elementos mostrados en las fotos anteriores.

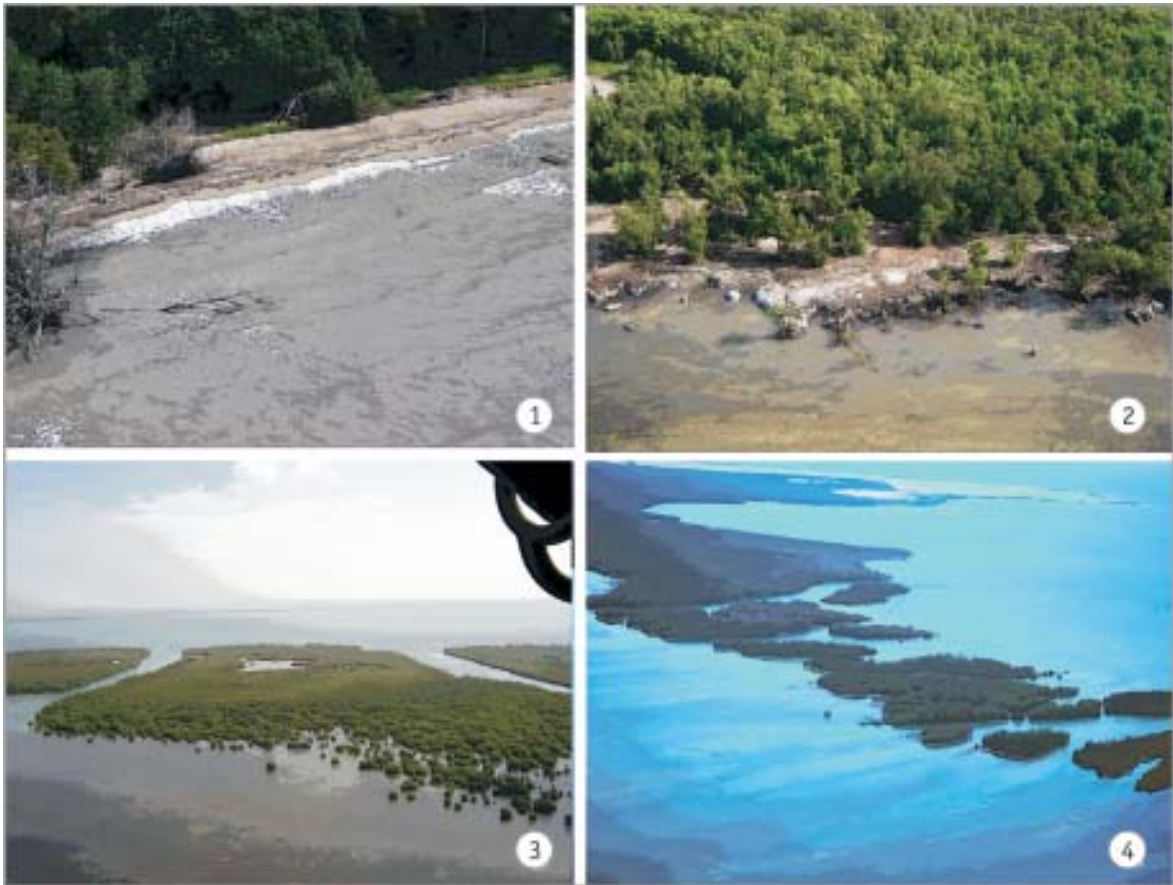


Fig. 7.8: Transformación de las costas bajas cenagosas en el sur de La Habana: 1. Playa areno-fangosa con mangles en proceso de dismantelamiento por la erosión (El Cajío). 2. Costa donde falta el mangle rojo; se observa un antiguo camino cortado por la erosión (Surgidero de Batabanó). 3. y 4. Cayos Cayamas, con costas estables donde se preserva la zonación total de mangles rojo y negro.

organismos litófilos. Gracias a la acción del intemperismo y a la gran variedad de substratos rocosos que tiene el territorio cubano, es que existen tantas variedades de suelos. Asimismo, los procesos del intemperismo desencadenan otros eventos que constituyen riesgos como son la erosión, los derrumbes y los deslizamientos. En la figura 7.9 se muestra un ejemplo de intemperismo en rocas granulares, que termina por convertir un terreno común en un páramo pedregoso, casi inutilizable. En cambio, este mismo proceso genera llamativas formas del relieve como la Gran Piedra, acumulaciones minerales muy importantes como las lateritas niquelíferas (Capítulo 10), y las tierras fértiles donde se producen muchos de los alimentos que se consumen. Uno de los mayores riesgos asociados al intemperismo es la erosión, pues las rocas deleznable y los suelos son fácilmente transportados por las aguas de lluvia, provocando la contaminación de las aguas y la pérdida de fertilidad de los suelos, entre otras afectaciones.

Derrumbes y deslizamientos

En las zonas montañosas y donde quiera que exista una pendiente del terreno mayor de 30 grados, existe la posibilidad de ocurrencia de *derrumbes* y *deslizamientos*, tanto en tierra, como bajo el mar. La alteración de las rocas (intemperismo), y la formación de grietas y superficies de debilidad, a menudo abren el camino para los movimientos de materiales hacia las partes bajas del relieve, tanto después de abundantes lluvias, como durante los ciclones o a causa de los terremotos. Los desplazamientos de materiales sólidos ladera abajo, también tienen que ver con la atracción de la gravedad y varían en la manera de manifestarse, de acuerdo con las características del terreno (Fig. 7.10).

Los *derrumbes* tipifican la caída de uno o varios fragmentos de roca que, por lo general, se desprenden desde lo alto de las paredes verticales de las montañas o de las escarpas submarinas. En casos

extremos, pueden generar avalanchas, cuando se movilizan multitud de fragmentos rocosos que a su vez arrastran otros en su camino. Los derrumbes son más comunes cuando están presentes rocas duras y agrietadas, como las calizas y los mármoles, los granitos, y algunas rocas volcánicas. Los bloques de roca, candidatos a derrumbarse, se observan en lo alto de las laderas abruptas, relativamente despegados del resto del suelo. En estas condiciones, su caída es solo cuestión de tiempo, cuando la energía necesaria esté disponible.

Los *deslizamientos* tipifican aquellos desprendimientos de porciones de las laderas inclinadas, que ocurren en distintas condiciones, de acuerdo con la pendiente y los materiales que forman el substrato rocoso. Estos desplazamientos de materiales acontecen como masas semicoherentes de suelo, rocas y(o) parches de vegetación. La inclinación de la pendiente no es un factor tan decisivo como la presencia de rocas alteradas que hayan perdido su coherencia interna, como pueden ser los conglomerados, las areniscas, las tobas, las arcillas y las rocas con una estructura laminar interna, como los esquistos y filitas. Estas masas se humedecen durante las lluvias y aumentan su peso, de modo que se rompe su continuidad con el sustrato, y deslizan ladera abajo. Los deslizamientos, primero, se manifiestan como surcos en lo alto de las laderas y pueden aparecer pequeños manantiales en la base de la pendiente. En caso de desarrollarse en zonas cubiertas de vegetación, se verifica que los troncos de los árboles tienden a estar ligeramente inclinados. A partir de aquí, el corrimiento puede ocurrir en cualquier momento. Una variante menos extrema es el flujo lento de suelos (solifluxión), que con el tiempo puede conducir a que los taludes de las montañas queden desnudos, y se desencadenen intensos procesos de erosión. La actividad humana pueden promover la ocurrencia de estos fenómenos e incrementa la vulnerabilidad. Por ejemplo, a causa de las construcciones de caseríos, caminos y cuando se elimina la cubierta vegetal en las laderas de las montañas.

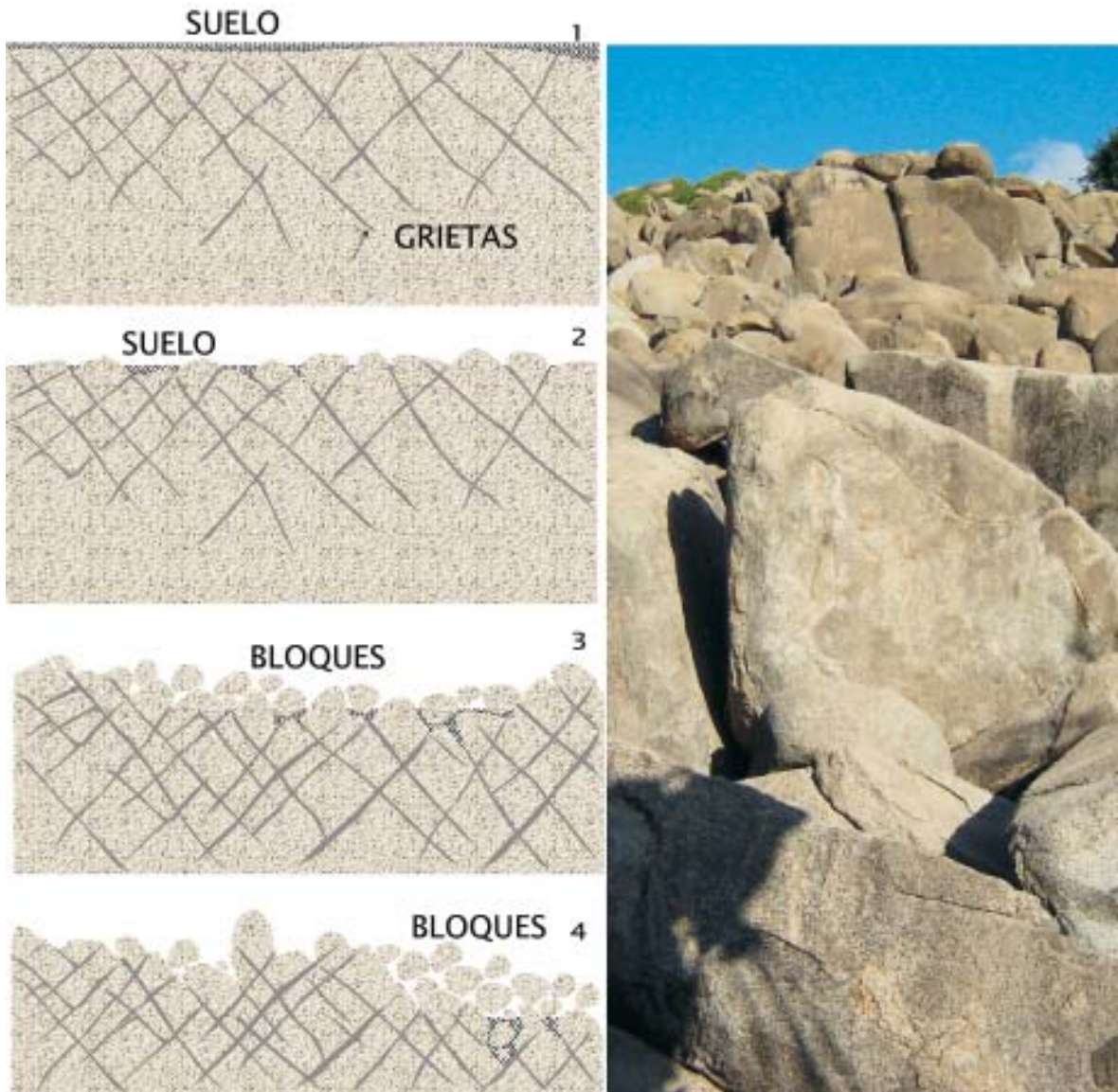


Fig. 7.9: Evolución de la acción de los agentes de la intemperie (intemperismo) —lluvia, humedad, cambios de temperatura, irradiación solar, microorganismos del suelo— en rocas granulares agrietadas. En este proceso se transforma el relieve y los macizos rocosos son reducidos a pilas de escombros esféricos (imagen de la derecha) (Cascada de Piedra en Nima Nima, Santiago de Cuba). (Adaptado del CD-ROM *Laboratorio de Geología Física*; foto cortesía de Omelio Borroto Leiseca).

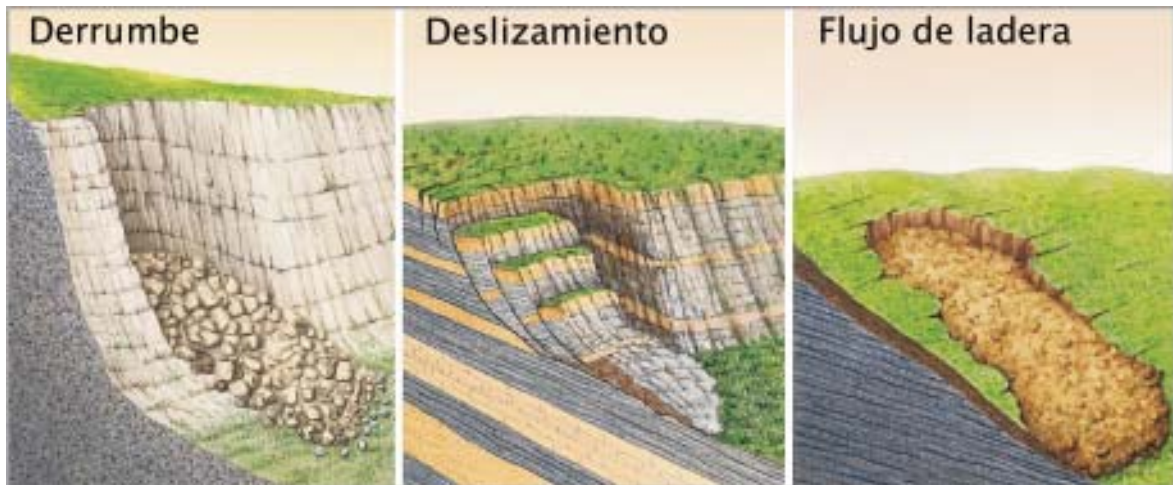


Fig. 7.10: Transformaciones de pendientes por flujo de suelos, deslizamientos y derrumbes. Estos procesos dependen del clima, el relieve, la inclinación de la pendiente, los tipos de roca, y la inclinación de las grietas y estratos. (Adaptado del CD-ROM *Laboratorio de Geología Física*).

La figura 7.11 expone algunos ejemplos de deslizamientos causados por la construcción de carreteras y en condiciones naturales.

Desplomes de cavernas

En las zonas tropicales son frecuentes las calizas, rocas que se caracterizan por su solubilidad ante la presencia de aguas enriquecidas en CO_2 y otros elementos orgánicos. Este proceso de disolución de las calizas provoca el incremento de su porosidad, la ampliación de las grietas, el debilitamiento de su dureza y resistencia, la formación de cavernas y en general, el surgimiento de un paisaje superficial y subterráneo, denominado relieve cárstico también llamado cárstico o kárstico. En muchas islas del Caribe, como en Cuba, hay amplias extensiones de terreno cuyo substrato está constituido por calizas con paisaje cárstico, las que, a menudo, contienen importantes reservas de aguas subterráneas (Capítulos 2 y 9).

En estos tipos de terrenos cársticos, otro evento geológico generador de desastres son los *desplomes* de los techos de las cavernas. Dondequiera que haya rocas calizas se forman cavernas en la profundidad, independientemente de que sea en el fondo del mar, en una costa, en una llanura o en una montaña. Los desplomes de los techos cavernarios ocurren con frecuencia. Evidencia de ello son las propias bocas de las cavernas, que en su mayoría han sido formadas por derrumbes. Este es un riesgo al que se exponen sobre todo los edificios e instalaciones que se construyan en zonas cársticas. Por ello, estas obras deben estar precedidas por investigaciones ingeniero-geológicas y espeleológicas del substrato donde se habrán de colocar los cimientos, para evitar que se sitúe una obra por encima del techo de una caverna. Aunque en Cuba no han ocurrido pérdidas de vida por esta causa, sí hay algunos ejemplos de edificios y carreteras afectados por el desplome del techo de cavernas.



Fig. 7.11: Deslizamientos de laderas: 1. y 2. (Carretera de Montaña, Pinar del Río). 3. (Cordillera Septentrional, República Dominicana).

Contaminación del medio cárstico

Los contaminantes naturales y los que proceden de la acción humana, no solo se dispersan por las aguas superficiales y la atmósfera, pues también penetran al subsuelo y alimentan las aguas subterráneas. Si el medio es poco poroso, esa contaminación se queda reducida al entorno del foco contaminante, pero en zonas cársticas donde existe una alta porosidad y extensas cavernas, la *contaminación* puede desplazarse largas distancias.

Sin embargo, las regiones cársticas constituyen también las mejores fuentes naturales de agua potable, pues su fuente de alimentación son las lluvias que se infiltran directamente desde la superficie, y penetran en rocas porosas y cavernosas con una gran capacidad de almacenamiento. Este mismo hecho las convierte en un medio con alto riesgo de contaminación, puesto que los vertimientos de sustancias contaminantes en cañadas, cavernas, y sobre la superficie del terreno, conducen a su infiltración total o parcial, hasta alcanzar el nivel de las aguas subterráneas (acuífero).

La explotación de las aguas subterráneas se realiza mediante pozos criollos o baterías de pozos de acueductos. Estos últimos están, por lo general, protegidos de la contaminación superficial. En cambio, no resulta así en el caso de los pozos criollos y artesanales, porque muchas personas abren estos pozos para el consumo de agua a pocos metros de las letrinas o de la boca de cavernas, donde vierten todo tipo de desechos y aguas negras, provenientes de cochiqueras, vaquerías, etc. (Fig. 7.12). Por esta razón, hay que divulgar ampliamente la necesidad de evitar estas prácticas, pues incrementan la vulnerabilidad de las comunidades que se abastecen de pozos criollos. De igual modo, existe la posibilidad de que las aguas y otros productos contaminantes que se vierten en cavernas o canteras abandonadas, puedan provocar efectos dañinos a largas distancias de la fuente contaminante. El hecho es que, bajo tierra, en los medios cársticos, se hallan numerosos espacios va-

cíos que funcionan como conductos subterráneos, los cuales pueden acarrear las aguas contaminadas a gran distancia. Por ello, es recomendable evitar todo tipo de vertimiento de contaminantes en cavernas o canteras en zonas cársticas, puesto que sus consecuencias son impredecibles y pueden manifestarse lejos del foco de contaminación.

El ejemplo de la figura 7.12 es válido, si se cambia la escala, tanto para un centro industrial como para una población. Basta suponer una zona densamente poblada, donde se hayan abierto pozos para el consumo de agua, letrinas, vertederos, o se enterraron tanques con combustibles. Si las rocas son porosas, si están muy agrietadas, o si son calizas cavernosas la infiltración de contaminantes está implícita. En estos casos, la solución está en emplear, para el consumo humano o animal, las aguas del acueducto y no la de estos pozos.

Otra de las mayores amenazas “invisibles” para la calidad de vida son los procesos de salinización por contaminación marina de las aguas subterráneas y superficiales, que están sobre todo presentes en los terrenos formados por calizas carstificadas. El uso de estas aguas para el riego afecta la fertilidad y la productividad de los suelos. Además, la salinización de las aguas subterráneas reduce el volumen de las reservas de agua potable y genera muchas afectaciones a las industrias que las utilizan en su proceso de producción. Para evitar que los pozos criollos se agoten durante sequías prolongadas, estos se reperfuran a mayor profundidad, varios metros más abajo del nivel normal del manto de aguas subterráneas. Esta es una práctica negativa, pues se bombea el agua más profunda, lo que puede promover la contaminación salina del acuífero (Fig. 7.12). Dada su importancia, este tema se retoma en el Capítulo 9.

Concentraciones naturales de sustancias tóxicas

Son bien conocidos y se han difundido bastante los efectos provocados por la contaminación de las

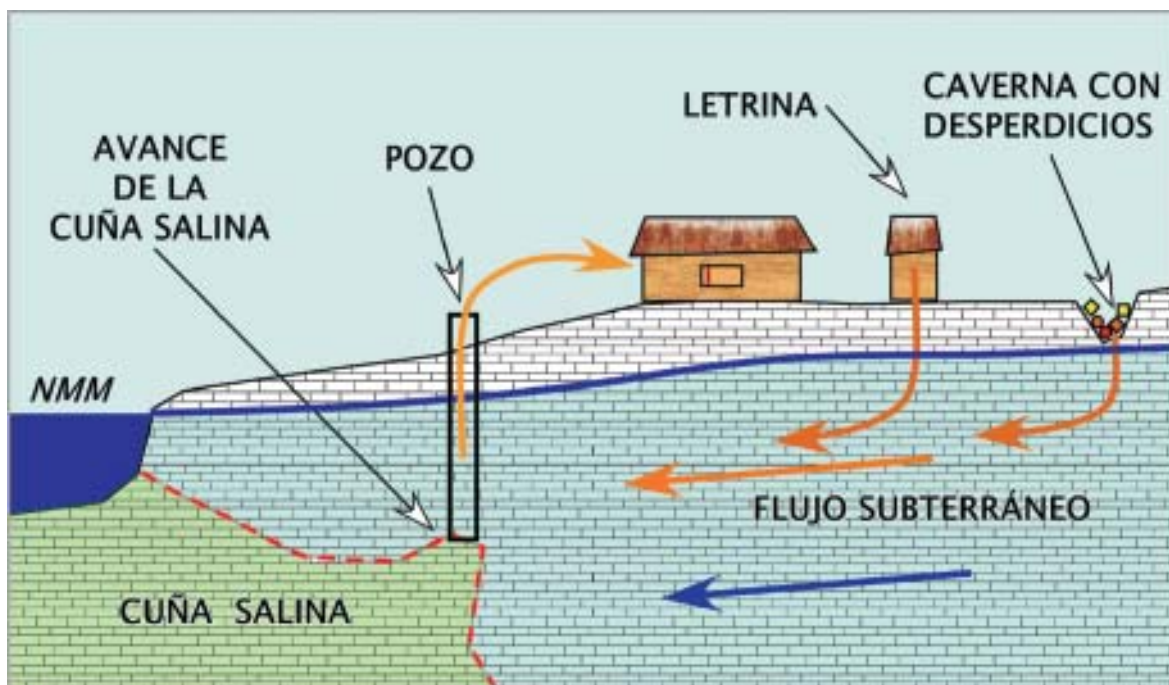


Fig. 7.12: Manto acuífero costero en calizas. Aquí, a favor de la corriente subterránea se han colocado, en línea: un pozo de toma de agua, una letrina y un vertedero de contaminantes en una caverna. Se observa el avance de la cuña salina, a causa de la sobreexplotación del pozo. En este escenario, las aguas del pozo terminan contaminadas.

aguas, los suelos y la atmósfera, como consecuencia de los procesos industriales y de otras actividades humanas. Sin embargo, no es tan obvio ni muy divulgado el hecho de que las rocas, las aguas y la atmósfera pueden presentar *concentraciones elevadas* de ciertos componentes, de manera natural, que son directa o indirectamente dañinos para la salud. En las islas del Caribe hay manantiales naturales de aguas saladas, los cuales contaminan los suelos y las corrientes fluviales. Existen manantiales que desprenden gases provenientes del interior de la Tierra, cuya respiración prologada puede ser dañina, otros manantiales contienen elementos y sustancias tóxicas que pueden concentrarse en el suelo o la vegetación. También hay rocas cuya composición incluye elementos y sustancias químicas peligrosas —tanto por su toxicidad, como por presentar actividad radioactiva— las cuales se transfieren a

los suelos, las aguas y la vegetación, tanto concentrándose como enrareciéndose, en dependencia del tipo de sustancia y de otros factores.

Vinculada con esta amenaza está la actividad minera que en ocasiones expone a la superficie del terreno minerales, rocas y aguas que en la profundidad estaban en estado de equilibrio químico y que al entrar en contacto con el aire se descomponen a gran velocidad. Por ejemplo, los yacimientos de minerales sulfurosos al quedar expuestos comienzan a descomponerse (hidratación, sulfatación, oxidación) y generan contaminantes que se incorporan al medio. Asimismo, algunos depósitos de oro al ser explotados incorporan arsénico a las aguas naturales. De igual modo, hay pozos perforados para diversas causas que al no estar debidamente sellados, crean vertimientos de aguas sulfurosas. En todos estos casos, es muy importante tomar medi-

das de control, pues se trata de elementos tóxicos que se pueden concentrar en el cuerpo humano y afectar la salud del individuo incluso la de sus descendientes.

Estos tipos de contaminación (natural y provocada por la minería) se manifiestan en cualquier lugar donde existan aguas termales, zonas de mineralización, en general, donde estén expuestos ciertos tipos de rocas. Afecta, sobre todo, a las poblaciones que consumen de manera estable y prolongada los productos provenientes de su entorno, es decir, las comunidades rurales, puesto que en ciudades y pueblos medianos los alimentos y el agua suelen provenir de distintas fuentes y es más difícil que una persona llegue a concentrar en su cuerpo cantidades peligrosas de ciertos elementos dañinos. Esto explica por qué las enfermedades de origen geológico, que son objeto de estudio de la medicina geológica, se manifiestan, en lo fundamental, en las pequeñas comunidades relativamente aisladas.

Las zonas de riesgo pueden detectarse mediante investigaciones geólogo-geoquímicas, determinando las concentraciones de elementos potencialmente tóxicos en el medio natural, comenzando por las antiguas zonas mineras y las comunidades donde se manifiestan enfermedades provocadas por factores abióticos.

Vulnerabilidad, prevención y mitigación

Los eventos geológicos que significan amenazas para la salud, la vida, el medio ambiente y la economía, son el resultado de la acción de las fuerzas propias del planeta, fuerzas que el hombre no puede controlar. Sin embargo, la *vulnerabilidad* tiene causantes relacionadas con el comportamiento humano, tanto individual, como social. Las fuerzas propias del planeta nacen del interior de la tierra, pero proyectan

sus efectos de diversos modos en la superficie terrestre y el espacio cósmico. Estas fuerzas incluyen la gravedad, el magnetismo, las reacciones termonucleares, las reacciones físico-químicas y los procesos geológicos vinculados con estas. En su conjunto, generan movimientos de las placas tectónicas, levantamientos y descensos del terreno, erupciones de volcanes, géiseres y fumarolas, manantiales, terremotos, maremotos, cambios del relieve, modificaciones seculares del clima, y una variada gama de eventos relacionados con la formación y la transformación de las sustancias y el paisaje. En síntesis, las fuerzas internas del planeta determinan el panorama de la superficie terrestre, cuyas influencias en el medio ambiente, y en la vida, son determinantes para el presente y el futuro de la sociedad. Los factores sociales son, asimismo, muy importantes, pues el hombre —con su actitud individual y colectiva— es quien incrementa los riesgos y potencia su vulnerabilidad ante los eventos naturales. Con el crecimiento de la población mundial se han establecido asentamientos humanos en regiones cada vez más cercanas a los sitios de ocurrencia de eventos catastróficos. Estos asentamientos tienen un creciente número de habitantes y de obras industriales. La afectación de estas obras industriales representa un riesgo adicional. En otras palabras, la vulnerabilidad aumenta exponencialmente con el crecimiento de la población y los grandes aglomerados urbanos e industriales.

El paradigma de que la naturaleza es pródiga y constituye como tal un “recurso natural” para ser aprovechado, ha de ser modificado a los niveles personal y colectivo. Se debe aprender, tanto a preservar el medio en que vivimos, como a protegernos de él. Por eso, es importante estudiar y conocer las fuentes de la vulnerabilidad, para actuar sobre estas y reducir sus efectos negativos.

Choque de la Tierra con un bólido cósmico

Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent

Hace 65 millones de años la Tierra entró en órbita de colisión con un enorme cuerpo extraterrestre, de más de 100 km de diámetro. El *impacto* ocurrió en la actual península de Yucatán, creando un cráter enorme que yace a casi un kilómetro de profundidad, denominado “cráter de Chicxulub”, por el nombre de esa localidad en lengua maya.

Como resultado de este impacto se desencadenó una multitud de eventos ambientales, los cuales modificaron para siempre la vida terrestre pues numerosos organismos perecieron masivamente y se extinguieron algunos linajes, dando lugar a la expansión y diversificación de otros organismos.

Descubrimiento

Las investigaciones que condujeron al *descubrimiento* de estos hechos comenzaron de manera independiente. Por una parte, los paleontólogos conocían, desde hace muchos años, que al final del Cretácico (alrededor de 65 millones de años atrás), tuvo lugar un cambio importante en la com-

posición de la vida terrestre. Este se explicaba como consecuencia de erupciones volcánicas, modificaciones del nivel del mar, irradiaciones cósmicas y pandemias. Sobre esta base se definió el final de la Era Mesozoica y el comienzo de la Era Cenozoica (también llamada Terciaria), coincidente con ese momento de la historia de la Tierra. Con posterioridad, en la década de 1960, los investigadores Luis Álvarez y Walter Álvarez propusieron que, en aquel momento remoto, había ocurrido el choque de un cuerpo de origen cósmico con nuestro planeta. Para llegar a esta conclusión se basaron en el hallazgo de una capa de arcilla negra, con un alto contenido de iridio. Primero la localizaron en un lugar conocido como Gubio en Italia; luego, en muchos otros sitios del mundo, siempre marcando el límite entre las rocas de edad cretácica y las de edad terciaria. Como el iridio es escaso en las rocas terrestres, pero relativamente abundante en los meteoritos, los Álvarez concluyeron que la concentración de este elemento había sido ocasionada por la pulverización de un enorme cuerpo cósmico.

Consecuencias del impacto

Numerosas han sido las investigaciones efectuadas en los últimos 40 años para determinar las *consecuencias* del impacto en nuestro planeta. La figura 8.1 sintetiza los procesos que se desencadenaron en distintos períodos después del impacto.

Según estas investigaciones, el impacto generó un golpe de aire caliente que se extendió hasta 2 000 km a la redonda, una bola de fuego que provocó incendios en los bosques, terremotos de categoría 10 y superior, derrumbes de los márgenes continentales, olas de hasta 300 m de altura, contaminación de las aguas y el aire, y muchos otros problemas ambientales. El comportamiento del clima fue también singular, pues en pocas décadas ocurrieron importantes modificaciones de la temperatura global. Primero, un calentamiento súbito, seguido por un período frío largo y una recuperación lenta hacia un clima cálido.

Es obvio que la vida en el planeta se vio muy afectada por esta crisis ambiental, como consecuencia de la cual muchos organismos marinos y terrestres murieron, y una gran cantidad de ellos se extinguieron para siempre. Por lo general, se menciona a los dinosaurios, pero a la lista habría que añadir los reptiles marinos gigantes, los pterosaurios, los rudistas, los foraminíferos globotruncánidos, y muchos otros. Sin embargo, sobrevivieron los cocodrilos y las tortugas, los mamíferos y las aves, y un sinnúmero de invertebrados. Estos sobrevivientes se expandieron por todos los rincones del planeta, ocupando los lugares dejados por los desaparecidos, y creando nuevos ecosistemas. Por ello, es evidente que, incluso, de catástrofes tan enormes como aquella, la vida se recupera. No obstante, ocurren pérdidas irreparables.



Fig. 8.1: Posibles efectos secundarios en la atmósfera y el clima terrestres provocados, hace 65 millones de años, por el impacto del meteorito en Chicxulub. (Adaptado de la revista *Science*).

Cuba y el impacto

Hace 65 millones de años la isla de Cuba no estaba aún formada y algunas de las rocas que hoy día se encuentran en el subsuelo del país, constituían el fondo del Mar Caribe primitivo, frente a las costas de la península de Yucatán (Fig. 8.2).

En aquel escenario geográfico se desencadenaron enormes trenes de olas después del impacto.

Estos tsunamis fueron provocados por dos factores: los flujos densos de masas hacia el fondo del Caribe primitivo, y los movimientos de las aguas hacia y desde el cráter. Los derrumbes dieron lugar a potentes acumulaciones en el fondo del mar, de lodo mezclado con grandes fragmentos de rocas. Estas capas alcanzan hasta 300 m de espesor, y se pueden apreciar en la Sierra del Rosario, y entre Cabañas y Cidra (Fig. 8.3).



Fig. 8.2: Paleogeografía del Caribe al final del Cretácico. Se muestran los sedimentos acumulados como resultado del impacto, acarreados por los flujos de detritos provenientes de los márgenes continentales. Estas sedimentaciones, convertidas en roca, pueden encontrarse en Cuba.

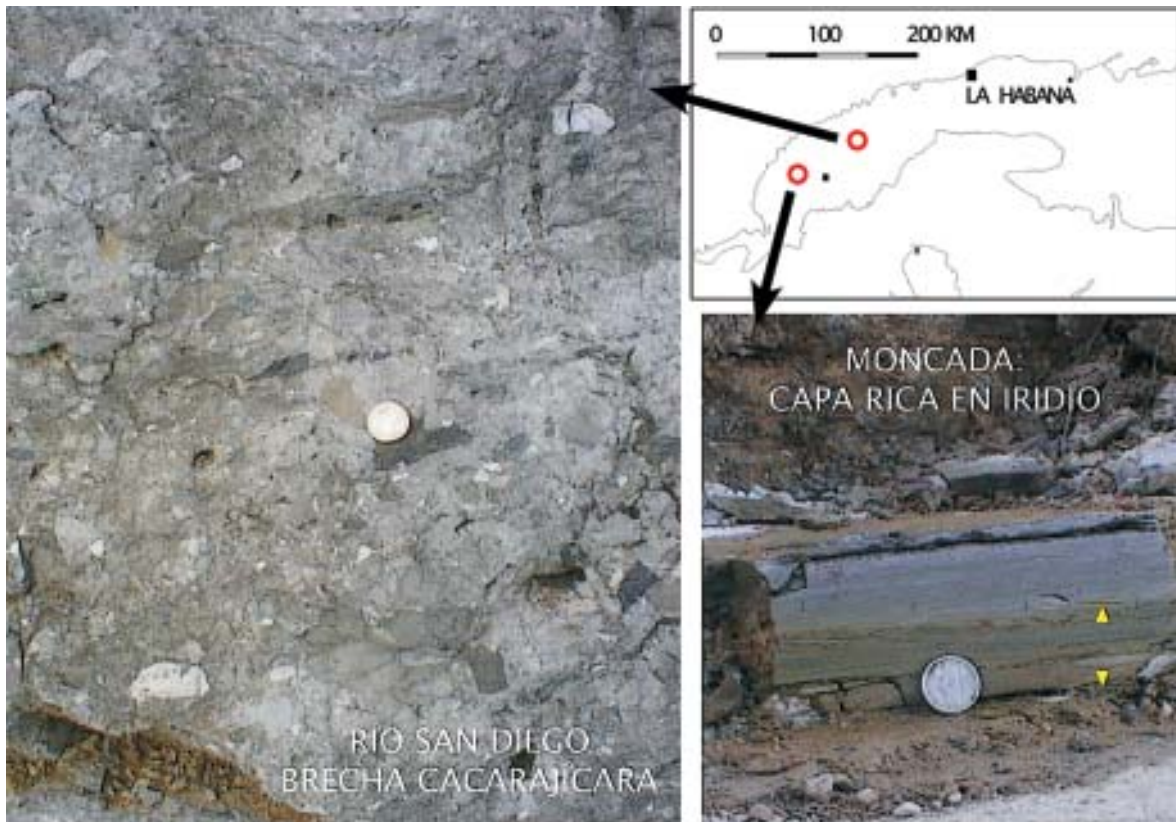


Fig. 8.3: Rocas formadas por derrumbes de los márgenes del Caribe, ocasionados por el impacto del meteorito, como se observan en Pinar del Río. Detalle de la matriz de la brecha de derrumbe, constituida por fragmentos angulosos de tamaños diversos. Esta matriz contiene bloques enormes (Río San Diego). Se muestra el corte con la capa arcillosa, con alta concentración de iridio (Ir) (Moncada). Una moneda de 5 centavos sirve de escala. (Cortesía de Ryuji Tada).



Fig. 8.4: Aspecto general de las rocas del límite Cretácico-Terciario (Moncada, Pinar del Río). (Cortesía de Ryuji Tada).

Las grandes olas tsunamis lavaron las costas y revolviéron los fondos marinos de aguas poco profundas, arrastrando consigo ingentes cantidades de lodo que enturbiaron el mar. Después, aquel fango se decantó hacia el fondo en el lapso de algunos meses. Los sedimentos así formados, ahora convertidos en rocas que alcanzan hasta 500 m de espesor, también se pueden encontrar en distintas localidades de la Sierra de los Órganos, la Sierra del Rosario (Pinar del Río) y desde Cabañas hasta Cidra (Matanzas).

Una de las evidencias de que en Cuba hay rocas vinculadas al impacto de un cuerpo extraterrestre, es la presencia de una capa con alto contenido de iridio (Fig. 8.3). Por ello, es posible afirmar que en Cuba

se encuentran las mejores exposiciones de rocas formadas como consecuencia del impacto (Fig. 8.4).

Algunas personas se preguntan por qué se invierten tanto esfuerzo y recursos en investigar hechos que ocurrieron en un pasado tan remoto. La respuesta es sencilla. Estos mismos eventos pueden tener lugar en el futuro y conociéndolos bien es como único se puede estar preparado para enfrentarlos. Por ejemplo, hoy día, muchos astrónomos observan el cielo en busca de cuerpos cósmicos que pudieran, eventualmente, chocar con la Tierra. Es probable que la humanidad no tenga que enfrentar el reto de prepararse para sobrevivir un evento así, pero, si llegara a ocurrir, ya se conocen las consecuencias (Fig. 8.1).

Recursos de agua potable y de aguas minerales

Dr. Reynerio Fagundo Castillo
Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent

El agua en la Tierra aparece en muchas formas diferentes, como agua en la biosfera y en la litosfera, como vapor de agua en la atmósfera, agua de lluvia y nieve en las precipitaciones, agua salada en los océanos, marismas y aguas profundas y la que más interesa a todos, el agua dulce de los ríos, lagos y glaciares, así como el agua subterránea que yace a poca profundidad.

La supervivencia del hombre depende del agua. Esta es imprescindible para la vida, y constituye el componente inorgánico más abundante en los seres vivos. En la especie humana alcanza el 86 % de su peso corporal durante la niñez y el 60 % en la edad adulta.

El agua cubre más del 70 % de la superficie del planeta y la reserva más importante se encuentra en el mar, que cubre el 97,5 % de la mencionada superficie. Sin embargo, hasta el presente, la desalinización del agua de mar es muy costosa y deja como subproducto una salmuera difícil de manejar ambientalmente. La mayor concentración de agua dulce se encuentra en los casquetes polares (2 %). El agua subterránea aprovechable —hasta 100 m

de profundidad— solo es el 0,5 %, y el agua de los lagos y ríos accesibles del mundo el 0,02 %.

Los requerimientos para el abasto a la población, la industria, la agricultura y otros usos en una ciudad industrializada, son de alrededor de 500 litros de agua por hombre por día. Por ello se afirma que la civilización moderna no puede existir sin cuantiosos volúmenes de agua potable pero es necesario resaltar que algunas regiones del planeta tienen una disponibilidad muy limitada de este recurso, que se resuelve aplicando costosas tecnologías a expensas de que la sociedad se desenvuelva en un ambiente de muy baja calidad de vida.

Cuando escasea el agua o se utiliza indebidamente, se crea un problema para el ambiente y la sociedad. Los programas de riego mal concebidos, el pastoreo excesivo y la deforestación, deterioran las tierras de cultivo tanto como la sequía o la desertificación. A este proceso se añade que los suelos desprotegidos pueden sufrir una profunda erosión, perderse a causa de las lluvias, y elevar la contaminación de las aguas. Por último, los residuos industriales, agropecuarios y poblacionales pueden

transformar los ríos, embalses y acuíferos subterráneos en reservorios de aguas no potables.

Si bien el agua es un recurso renovable a nivel global, a escala regional o local esto no se cumple, pues el mal manejo de los recursos de agua potable puede provocar un déficit en el balance hídrico. En Cuba, la renovación de los recursos de agua ocurre como resultado de las precipitaciones estacionales convectivas, y las asociadas a los frentes fríos y huracanes, aunque la distribución no es uniforme en todo el país, existiendo zonas afectadas por prolongadas sequías. Según datos recientes, los recursos hídricos potenciales en la Isla son del orden de los 38,1 km³, pero no toda esta agua es utilizable.

El mapa 9.1 refleja los terrenos de acuerdo con su capacidad acuífera. Las regiones con rocas que contienen importantes volúmenes de aguas subterráneas son mayormente calizas cavernosas, pero estos acuíferos están, por lo general, comunicados con el mar, lo que significa un peligro potencial de contaminación con aguas saladas. Las regiones restantes están compuestas por rocas poco permeables, las cuales pueden servir de base para construir embalses que permitan aprovechar las precipitaciones y el escurrimiento superficial, aunque también contienen recursos limitados de aguas subterráneas que se pueden aprovechar.

Ciclo hidrológico

El *ciclo hidrológico* o ciclo del agua, es un proceso continuo, el cual comienza por la evaporación a partir de los océanos, lagos, ríos y otras fuentes. Entonces, esas aguas descienden a la tierra como humedad del aire y, desde las nubes, durante las precipitaciones de nieve y pluviosas (Fig. 9.2). Estas aguas, al caer sobre los terrenos, pueden tomar varias vías. Una parte es retenida en el suelo y las plantas, de modo que regresa a la atmósfera por evaporación y transpiración. Otra porción corre sobre la superficie del terreno alimentando ríos y lagunas o se infiltra al subsuelo, y comienza su recorrido subterráneo. Desde el subsuelo, las aguas subterráneas pueden alimentar manantiales y ríos, o llegar hasta las costas y

verterse en el mar. De este modo, las aguas superficiales y subterráneas llegan por vías diferentes a los océanos y, de nuevo, se evaporan hacia la atmósfera, comenzando un nuevo ciclo.

Verdadero ciclo del agua. En la actualidad, con el desarrollo de la población humana y las grandes extensiones de terreno ocupadas por ciudades, pueblos, industrias, zonas agropecuarias y población rural, se puede concebir de una manera diferente el ciclo del agua. El modelo explicado antes se cumple solo en áreas muy limitadas, lejos de la civilización. Por ello, el verdadero ciclo del agua ha de entenderse como una interacción entre la sociedad y la naturaleza (Fig. 9.3). Este concepto muestra con claridad cómo la sociedad extrae vastos recursos del medio, interrumpiendo el movimiento natural de las aguas y, en otro orden de cosas, vierte los residuos contaminantes a la naturaleza, donde se incorporan al ciclo del agua. De esta manera, el auténtico ciclo del agua pasa a través de la sociedad. Por ello, se debe enfatizar que, en la actualidad, el agua no representa un ciclo independiente de la sociedad, pues las comunidades humanas han pasado a ser parte integrante y fundamental de ese ciclo.

Por consiguiente, solo ahorrando agua y evitando por todos los medios su contaminación, se podrá disponer de ese recurso indispensable para la vida. Ello conlleva asumir y promover una ética ambiental, una cultura de la naturaleza a niveles individual y colectivo.

Aguas subterráneas

Los principales recursos de agua potable en Cuba están contenidos en depósitos *subterráneos*, dispersos en todo el territorio (Fig. 9.1). Entre estos recursos, se reconocen dos tipos generales:

1. Las aguas que están contenidas en acuíferos cársticos, es decir, en medios cavernosos, porosos y agrietados en rocas calizas.
2. Las aguas que están contenidas en medios agrietados, en rocas casi carentes de poros, donde los recursos son limitados y presentan, con frecuencia, una alta mineralización.



Fig. 9.1: Acuosidad de las rocas cubanas. Puede observarse que la mayoría de los recursos de aguas subterráneas están en acuíferos colindantes con el mar, lo cual significa un peligro de contaminación salina. Los terrenos de rocas poco permeables tienen escasos recursos de aguas subterráneas, pero en estos se puede construir embalses.



Fig. 9.2: Componentes del ciclo hidrológico natural.



Fig. 9.3: Relación sociedad-naturaleza. Aquí se enfatiza la dependencia de la sociedad con los recursos naturales y la posibilidad de su agotamiento o contaminación con los desechos de los procesos agrícolas e industriales.

Acuíferos cársticos. Las propiedades acuíferas de las calizas dependen de la cavernosidad, la porosidad y el agrietamiento, gracias a que una apreciable porción de roca ha sido disuelta o removida. En el proceso de disolución de las calizas, constituidas por carbonato de calcio (CaCO_3), desempeña un papel importante el dióxido de carbono (CO_2) proveniente de los procesos microbiológicos de descomposición de la materia orgánica del suelo. Este proceso incrementa el espacio poroso y la amplitud de las grietas. Por lo general, en estos terrenos calcáreos la mayor parte del agua circula por el subsuelo en grandes volúmenes aprovechables. Las precipitaciones que llegan a la superficie de los terrenos calizos, en gran medida, se infiltran, de manera que son las corrientes superficiales y, en contraste, abundan las depresiones y bocas de cavernas, que actúan como colectores de agua o sumideros. La figura 9.4 muestra la complejidad de estos sistemas.

Circulación de las aguas subterráneas

La *circulación del agua subterránea* ocurre en distintas condiciones y se pueden distinguir las zonas siguientes:

- No saturada o de aireación.
- Freática o saturada.
- Circulación profunda (Fig. 9.5).

La *zona de aireación* está situada entre la superficie del terreno y la superficie de saturación de las aguas subterráneas, y puede tener, desde pocos metros, hasta varias decenas de metros. En esta zona, las aguas de lluvia o del escurrimiento superficial se infiltran y humedecen el suelo y las rocas, y parcialmente son retenidas por las raíces de las plantas. Otra parte de las aguas infiltradas fluye hacia la profundidad. En la zona de aireación se forman, sobre todo, cavernas verticales o inclinadas a favor de las grietas (Fig. 9.6).

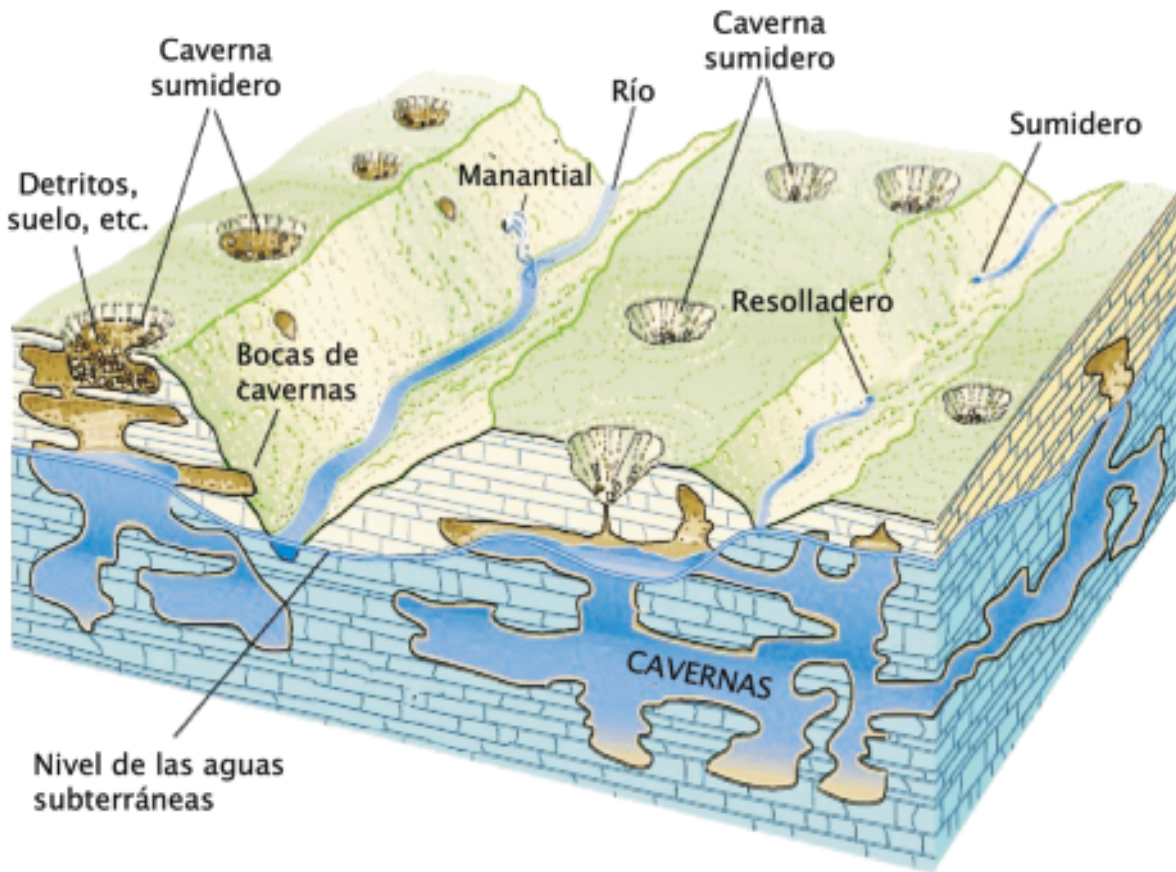


Fig. 9.4: Maqueta de un sistema cárstico de llanura. Aquí se representan los diversos componentes del relieve (superficial y subterráneo). Las casimbas, por lo general, se deben al derrumbe del techo de las cavernas y actúan como vías de alimentación del acuífero. Es característico que los ríos se hunden (sumideros) y reaparecen (resolladeros), al circular por los espacios subterráneos (cavernas). En estas condiciones, las aguas subterráneas están intercomunicadas entre sí y con las que se infiltran desde la superficie. (Adaptado del CD-ROM *Laboratorio de Geología Física*).

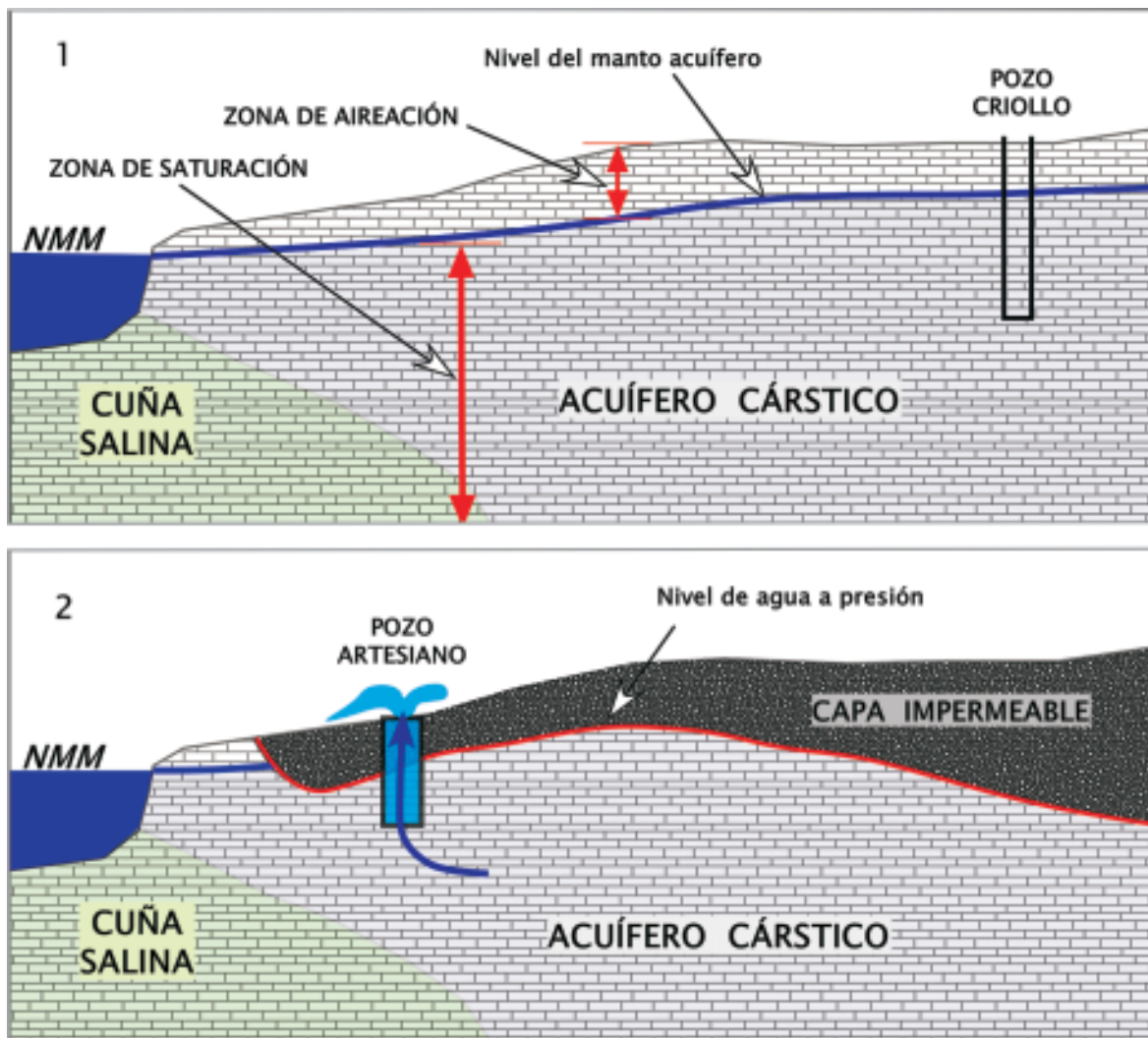


Fig. 9.5 Acuíferos en llanuras costeras. Se observa las diferencias entre un acuífero libre y uno confinado o artesiano, así como las distintas zonas de circulación de las aguas subterráneas.

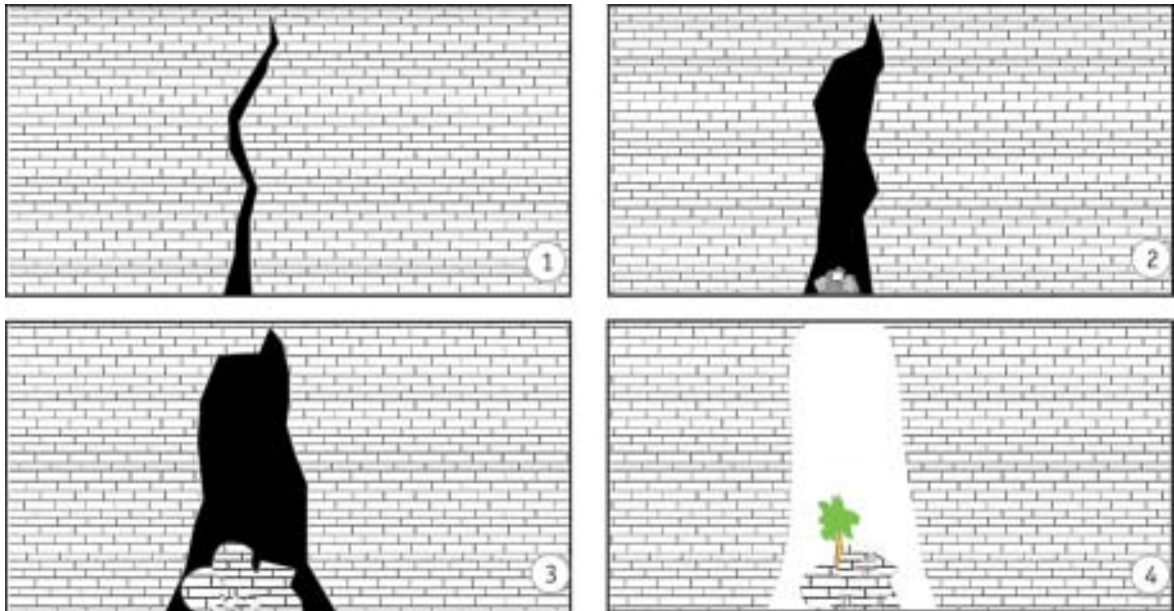


Fig. 9.6: Formación de las cuevas verticales creadas por el flujo (ascendente o descendente) de las aguas por grietas, y por los procesos de desplome que abren la comunicación con el exterior. De este modo, se originan cenotes, hoyos de montaña, hoyos azules (*blue holes*) y algunas furnias.

La *zona saturada* se halla a distinta profundidad bajo la superficie, en dependencia del relieve. En las montañas de caliza puede yacer al nivel de los valles, de modo que todo el espesor de calizas que forma las elevaciones pertenece a la zona de aireación (Fig. 3.3). En las llanuras, la superficie de las aguas subterráneas puede estar situada a pocos metros de profundidad o aflorar a la superficie en los pantanos costeros y en las lagunas. En la zona de saturación las aguas ocupan todos los espacios vacíos de las rocas y generalmente fluyen desde las partes más altas del relieve hacia las depresiones para terminar en el mar, por eso predominan los movimientos horizontales de las aguas a lo largo de grietas y por los poros. En estos medios la *porosidad* es una medida directa del contenido de agua por unidad de volumen de roca. En la zona de saturación, las cavernas son sobre todo horizontales, usualmente laberínticas, con varios niveles superpuestos, a causa de los cambios del nivel del mar en el pasado (Figs. 3.3 y 9.4).

La *zona de circulación profunda* está asociada al drenaje profundo y se caracteriza porque las aguas presentan, en general, elevados contenidos de minerales y gases disueltos. Suelen tener propiedades mineromedicinales, apropiadas para la curación de diferentes enfermedades. Emergen al exterior a través de manantiales o por los pozos perforados por el hombre.

Las rocas calizas cavernosas se caracterizan por su alta *permeabilidad*, que refleja la facilidad con que las aguas circulan por el medio rocoso. Se mide en términos de velocidad (*metros por día*: m/d). En contraste, las arcillas y margas son casi impermeables, pues aun en el caso que estén impregnadas de agua, esta apenas circula por dentro de estas rocas. Por eso, la disposición de las capas de rocas permeables e impermeables en el subsuelo, determina dos tipos principales de depósitos subterráneos, los acuíferos libres y los confinados o artesianos (Fig. 9.5).

Los *acuíferos libres* son aquellos donde las rocas permeables están en contacto con la superficie, y

tienen zona de aireación y zona de saturación. Se alimentan directamente de las precipitaciones y las corrientes superficiales. La composición química de las aguas en este tipo de acuífero, refleja la composición y las propiedades de las rocas que lo componen. La mayoría de las reservas de agua potable de Cuba están en acuíferos como estos.

Los *acuíferos confinados* o *artesianos* se caracterizan porque están aislados por una capa de rocas impermeables, que impide su comunicación directa con la superficie. En estos acuíferos, las aguas están a presión y su composición química es bastante estable, aunque depende también de la constitución de las rocas permeables. Otra particularidad de los acuíferos confinados es que, cuando se abre un pozo en estos, el agua brota hasta la superficie con un caudal casi constante. Estos acuíferos también alimentan los manantiales de aguas mineromedicinales (Fig. 9.5).

Intrusión salina

La *intrusión salina* es el proceso de penetración de las aguas marinas saladas, tierra adentro, hacia los acuíferos costeros. En la figura 9.7 se representa este fenómeno, donde es notable que bajo el manto natural de agua dulce se encuentra una capa de aguas saladas (más densas), que se conectan directamente con el mar. La superficie de contacto entre las aguas dulces y saladas se denomina “interfaz agua dulce-agua salada”, cuya profundidad varía, tanto por causas naturales (posición del nivel del mar, volumen de las precipitaciones), como por causas artificiales (humanas), relacionadas casi siempre con la sobreexplotación de las aguas subterráneas. Cuanto más cerca de la superficie del terreno se encuentra esa interfaz, existirá mayor peligro de contaminación de las aguas potables.

La sequía, por lo general, provoca el avance de las aguas saladas hacia el interior de la tierra, pues el volumen de agua dulce que alimenta el acuífero disminuye y el empuje de las aguas saladas más densas aumenta. Este es uno de los mayores riesgos



Fig. 9.7: Acuífero en comunicación directa con el mar, en condiciones costeras o de un cayo o pequeña isla. Se observa la posición de las aguas marinas por debajo de las aguas dulces.

a que están sometidos los recursos de aguas subterráneas de Cuba, seguido por el peligro de contaminación desde la superficie.

Aguas minerales

En general, se considera *agua mineral* a la que posee temperatura, caudal y composiciones química y biológica estables, y *agua termal* la que es más caliente que la temperatura ambiente en la superficie. Casi siempre las aguas minerales son aguas subterráneas del drenaje profundo, que pueden ser de tipo meteórico (asociadas al ciclo hidrológico), proceder de cuencas artesianas que han permanecido durante muchos años confinadas, o de origen volcánico (aguas juveniles), las cuales al emerger por manantiales se incorporan al ciclo hidrológico. La temperatura de las fuentes termales, en ocasiones cercanas a 100 °C, puede deberse a la actividad volcánica o a que proceden de zonas muy profundas, como es el caso cubano. Como regla, las regiones que presentan manantiales termales tienen un gradiente geotérmico superior a 3 °C por cada 100 m de profundidad.

Debe señalarse, no obstante, que más del 95 % de las aguas minerales son de origen meteórico y,

por tanto, están relacionadas con el ciclo hidrológico. Estas aguas proceden de acuíferos profundos, que yacen, por lo general, en condiciones artesianas y su ascenso a la superficie tiene lugar a través de fallas o fisuras de distinto origen. En Cuba se conoce una serie de campos de aguas termales, vinculados con sistemas de fallas profundas. Algunos manantiales famosos están en Playa Menéndez, San Miguel de los Baños, Elguea, Ciego Montero y San Vicente, por mencionar unos pocos.

Composición química de las aguas

Las aguas subterráneas tienen una *composición* diversa, que depende de una variedad de factores, donde desempeñan un papel importante el medio químico y la composición de las rocas. Por ello, se clasifican en aguas carbonatadas, sulfatadas, cloruradas y otras. Lo importante es conocer que demuestra que no existe una sola, sino una multitud de aguas, de acuerdo con su composición, y que estas pueden ser buenas o dañinas para la salud, a corto, mediano o largo plazo. Esto significa que las aguas de consumo humano han de ser someti-

das a evaluación periódicamente, puesto que su composición puede cambiar con el tiempo.

Agua y hombre

En Cuba hay gran disponibilidad de agua potable a pesar del carácter insular largo y estrecho del territorio. Esto se debe al clima tropical lluvioso y a la existencia de extensas regiones compuestas de calizas, que contienen abundantes recursos hídricos. Asimismo, por la iniciativa del Estado de construir numerosos embalses artificiales en las áreas donde la disponibilidad de aguas subterráneas es limitada o nula. Sin embargo, la isla padece de períodos de escasas lluvias, a veces prolongados por más de un año, que limitan y casi llegan a poner en crisis las disponibilidades de aguas para el consumo humano, agropecuario e industrial. Esto está relacionado con el carácter dinámico de las reservas de agua potable cubanas. Por consiguiente, es importante comprender que este recurso es, en lo fundamental, de carácter estacional, y puede explotarse tanta agua como aporten las lluvias y sea conservada sin contaminación. Hay aguas disponibles en los embalses, en los ríos y lagunas interiores, en los acuíferos subterráneos y cavernas. Algunas brotan de manantiales desde grandes profundidades, otras están aún parcialmente explotadas. Sin embargo, la mala utilización de esos recursos, su contaminación y la salinización de los acuíferos costeros, pueden poner en peligro esas reservas.

Cuando una persona lava un carro o un tractor en un río, contribuye a la contaminación de las aguas corriente abajo. Cada vez que se canalizan las aguas negras hacia un río o hacia un acuífero, se crea un foco de contaminación. Al arrojar desperdicios só-

lidos u orgánicos en una caverna o en una cantera de calizas, se establece una fuente de contaminación. En cada localidad donde se extraen grandes volúmenes de agua subterránea, sin un control de su calidad durante el proceso de explotación, se promueve la salinización de los acuíferos. Todos estos hechos provocan el empobrecimiento de la calidad de las aguas, y pueden convertir un recurso de agua potable en un depósito inutilizable. El problema fundamental es que algunas personas creen que el efecto individual que provoca su acción es mínimo. Ese es un grave error de apreciación. Hay que tener en cuenta que la acumulación de eventos individuales puede provocar una catástrofe ecológica.

Suponga el caso de un río donde se construye un embalse para acumular las aguas, lo cual es bueno; pero se reduce el flujo de las aguas río abajo de esa obra. Ahora, añada que en el curso inferior distintas empresas y personas canalizan las aguas negras hacia el cauce, y otras asociaciones agropecuarias colocan tomas de agua para regar sus campos. Si a ello se suma que los individuos que viven a los lados del río lavan en este sus motores y arrojan basura a la corriente, el conjunto de esas acciones —aparentemente, aisladas— provocará la reducción del volumen de agua potable que se descarga en el mar. Entonces, el río se saliniza y se modifica el ambiente en la zona costera, afectando el medio marino. Al final, las aguas del río dejan de ser navegables, pierden su calidad y se produce una escasez artificial de agua potable. Este ejemplo puede hacerse realidad en muchos lugares (incluso, sin embalses), puesto que la acción acumulativa de muchas empresas e individuos basta para contaminar un río, o acuífero, en pocos meses, y su recuperación, aun tomando costosas medidas profilácticas, puede tardar varios años.

Recursos de minerales sólidos

*Dr. Xiomara Casañas Díaz
Ing. Rolando Batista González*

Las rocas y minerales son recursos naturales no renovables, cuya utilización ha permitido el avance de la sociedad tecnológica actual. Los minerales sólidos y sus derivados están presentes en cada momento de la vida cotidiana, en múltiples formas y modificaciones.

Conceptos básicos

Para hablar de los recursos minerales de Cuba, es necesario exponer las definiciones de algunos *conceptos básicos*, con vistas a hacer más comprensible la exposición ulterior de este tema. Para ello, se utilizan las definiciones dadas en la Ley de Minas, muy ligeramente modificadas.

Mineral. Es un compuesto sólido natural, caracterizado por poseer una composición química definida. La Ley de Minas añade que su explotación debe ofrecer interés económico.

Recursos minerales. Son todas las concentraciones de minerales (sólidos y líquidos) que existan en el suelo y en el subsuelo del territorio nacional, así como en el fondo marino y el subsuelo de la zona económica de la República.

Depósitos minerales. Son acumulaciones de minerales o rocas que, por su calidad y cantidad, pudieran ser explotados como fuente de materias primas o de energía. Su cantidad se define como *recursos*. Es de destacar que, cuando se habla de depósitos minerales, no se trata de una acumulación cualquiera de rocas o minerales, sino de aquellos que son útiles al hombre para uno u otro fin. Aquí podemos encontrar los casos siguientes:

- Rocas y minerales que son útiles por sí mismos. Por ejemplo, mármoles, piedra de cantería, minerales preciosos.
- Rocas y minerales que contienen uno o varios componentes útiles, como la mayoría de los minerales metálicos. Por ejemplo, calcopirita (portadora de cobre), laterita ferroniquelífera (portadora de hierro, níquel y cobalto).

Mena. Se denomina así a la porción útil de un mineral metalífero y *Ley del Mineral*, a la concentración del metal objeto de interés contenido en la mena.

Roca de caja. Se considera roca encajante o de caja al conjunto rocoso que contiene al depósito

mineral, pero cuya composición no le confiere valor económico. El límite entre la roca de caja y el depósito mineral depende del tipo de mineral y de la tecnología de extracción, de manera que en su determinación entran conceptos geológicos y económicos.

Yacimiento mineral. Son depósitos minerales que se pueden explotar con beneficios económicos. El monto de sus recursos se expresa en reservas.

Reserva mineral. Parte de los recursos de un yacimiento que puede ser explotada de manera rentable o ventajosa para la sociedad en un momento determinado. De este modo, mientras los recursos dependen de la geología del depósito, las reservas obedecen al interés o la necesidad de la sociedad y al desarrollo de la ciencia y la tecnología. Por ejemplo, las oscilaciones del precio de un mineral en el mercado pueden determinar la conveniencia de explotarlo o de mantenerlo como reserva para el futuro. De esta manera, un depósito puede considerarse o no un yacimiento en función del mercado.

Prospección. Conjunto de trabajos geólogo-geofísicos que tienen como objetivo la búsqueda de indicios y concentraciones minerales que pudieran resultar de interés económico.

Exploración. Conjunto de operaciones con vistas a la determinación de la estructura del yacimiento, la morfología, las dimensiones y condiciones de inclinación del cuerpo mineral, el contenido y la calidad del (los) mineral existente en el mismo, así como el cálculo de las reservas, incluyendo la evaluación económica del yacimiento y otros estudios que ayuden a su mejor explotación.

Explotación. Conjunto de operaciones mineras destinadas a la preparación y el desarrollo del yacimiento, y a la extracción y transportación de los minerales.

Mina. Conjunto de excavaciones e instalaciones superficiales y subterráneas que se realizan para la exploración y la explotación de un yacimiento mineral.

Minería. Artes de laboreo en el conjunto de las minas y explotaciones mineras.

Beneficio. Todas las acciones tecnológicas encaminadas a darle un valor de uso mayor a la materia mineral extraída del yacimiento. Por lo general, se trata del conjunto de procedimientos que permiten separar la mena de las rocas sin valor mineral, y extraer de la mena el elemento o las sustancias deseados.

Determinación de un yacimiento. La evaluación de todo depósito mineral, antes de su posible explotación, tiene en cuenta los requerimientos siguientes:

- La cantidad de la materia mineral que se va a explotar debe justificar su extracción, a partir de una amortización de las inversiones efectuadas en el plazo más corto posible.
- La calidad de la materia mineral deberá satisfacer los requerimientos tecnológicos de la industria adonde va destinada, lo cual está relacionado con las propiedades químicas y físicas de los minerales o rocas.
- Deben existir las tecnologías adecuadas para la extracción y el beneficio de las materias minerales, de modo rentable y no agresivo al medio ambiente.
- La necesidad que tenga la sociedad de esta materia prima mineral.

En Cuba, de acuerdo con la Ley de Minas, los recursos minerales se agrupan como aparece en la tabla 10.1.

Minerales sólidos de Cuba

El territorio cubano posee importantes recursos de *minerales sólidos*, los cuales constituyen un pilar fundamental para el desarrollo económico del País. En relación con la diversidad y la magnitud de las reservas, entre los depósitos de minerales metálicos están las lateritas portadoras de hierro, níquel y cobalto, así como algunos depósitos de oro y polimetales. En el pasado, se explotó cobre, hierro, manganeso, cromo, cinc y plata, entre otros; pero, en este momento, las reservas existentes, por lo

TABLA 10.1
Agrupación de los minerales sólidos, según la Ley de Minas

Grupo	Minerales sólidos
I	Minerales no metálicos. Utilizados como materiales de construcción o materia prima para la industria y otras ramas de la economía. En este grupo se incluyen las piedras preciosas y semipreciosas.
II	Minerales metálicos. Este grupo incluye los metales preciosos, los metales ferrosos y no ferrosos, así como los minerales acompañantes (metálicos y no metálicos).
III	Minerales portadores de energía
IV	Aguas y fangos minero-medicinales. Comprende las aguas minero-industriales, minero-medicinales termales y los fangos minero-medicinales.
V	Otras acumulaciones minerales. Este grupo incluye las acumulaciones constituidas por residuos de actividades mineras que son útiles para el aprovechamiento de algunos de sus componentes, tales como colas, escombreras y escoriales; y todas las acumulaciones minerales y demás recursos geológicos que no están especificados en los grupos anteriores, y que puedan ser objeto de explotación.

general, tienen una importancia económica limitada. Respecto de los minerales industriales o no metálicos, en Cuba se conocen depósitos de unas 65 variedades, que se presentan en más de 600 depósitos o yacimientos, y más de 900 sitios potencialmente útiles. Entre estos, son más comunes los depósitos de rocas carbonatadas (calizas, dolomías y calizas marmóleas) y de rocas de origen volcánico (tobas zeolíticas, basaltos, andesitas y tobas). También se encuentran importantes recursos de rocas metamórficas (mármoles y esquistos calcáreos). Le siguen en orden de importancia los depósitos de sal gema, arcillas, arenas policomponentes, arenas cuar-cíferas y bentonita. Se conocen recursos —de distinto origen y menor importancia— de asphaltitas y bitúmenes, caolines, feldespato, fosforita, barita, yeso, vidrio volcánico, cuarzos, magnesitas, micas, paligorskita, silicitas, wollastonita, asbestos, ópalos, granates, grafito, cianita y cuarcitas. Las principales materias minerales tienen uso práctico, comprobado por la explotación y su utilización en la economía nacional. La tabla 10.2 muestra las posibles vías de aprovechamiento de los minerales industriales.

Tipos de yacimientos minerales

Existe una gran variedad de *yacimientos minerales* que se agrupan según el uso a que esté destinada la

mena, el origen del depósito, el modo de explotación, y muchos otros criterios que no se analizarán en esta obra. El objetivo de este acápite es describir, brevemente, algunos tipos de yacimientos cubanos, de acuerdo con su origen. Sobre la base de este criterio se clasifican en *endógenos* (si se forman en el subsuelo) y *exógenos* (si el mineral se concentra sobre la superficie terrestre, ya sea en los terrenos emergidos o bajo el mar). Un ejemplo de yacimiento endógeno son las menas metálicas de cromo, cobre, oro, y las no metálicas de cuarzo y algunos caolines. Estas acumulaciones surgen en asociación con la actividad magmática e hidrotermal (Fig. 10.1). En este ejemplo, hay minerales que se agregan como nidos en el entorno de las cámaras magmáticas, otros se depositan a lo largo de grietas y entre los estratos o superficies de esquistosidad. Los minerales exógenos pueden formarse donde brotan manantiales de aguas minerales a la superficie. Otros depósitos de minerales se concentran en el fondo de mar, junto con las rocas sedimentarias o volcánico-sedimentarias; entre estos, están los de fosforita y de manganeso. En este último caso, los horizontes ricos en manganeso se disponen como capas intercaladas entre las restantes rocas sedimentarias (Fig. 10.2). Es curioso apuntar que estos yacimientos pueden ser de interés para la paleontología, pues a veces se encuentran grandes

TABLA 10.2

Utilización potencial de algunos recursos de minerales industriales de Cuba

Uso	Fundición	Cerámica	Vidrio	Refractarios	Gomas y plásticos	Fuentes	Pigmentos	Lodos	Química	Electrónica	Construcción	Fertilizantes	Plenos	Cementos	Papel	Abrasivos	Filtros	Decorativo	
Rocas y minerales																			
Andesita	X										X								X
Arcillas		X		X	X	X	X				X	X		X					
Arena y grava											X	X		X					
Areniscas											X	X		X					X
Asbestos				X							X	X		X					X
Barita			X		X	X	X				X	X		X					
Basalto			X	X				X			X	X		X					X
Bentonita	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X					X
Caliza	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X					X
Caolín		X	X	X	X	X	X				X	X		X					X
Cuarcita	X	X	X	X	X	X	X				X	X		X					X
Feldespatos		X	X	X	X	X	X				X	X		X					X
Fosfatos										X									
Grafito	X			X		X	X			X									
Granate				X		X	X			X									X
Magnesita	X		X	X	X				X		X	X		X					
Marga		X		X	X						X	X		X					X
Mármol	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X		X					X
Mica				X	X	X	X			X	X	X		X					X
Olivino	X			X					X		X	X		X					
Sal gema			X	X	X	X	X		X	X	X	X		X					X
Silíce, cuarzo	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X					X
Talco		X		X	X	X	X		X	X	X	X		X					X
Tobas			X		X				X	X	X	X		X					X
Turba									X		X	X		X					X
Wollastonita		X		X	X		X		X	X	X	X		X					X
Yeso									X	X	X	X		X					X
Zeolita	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X					X

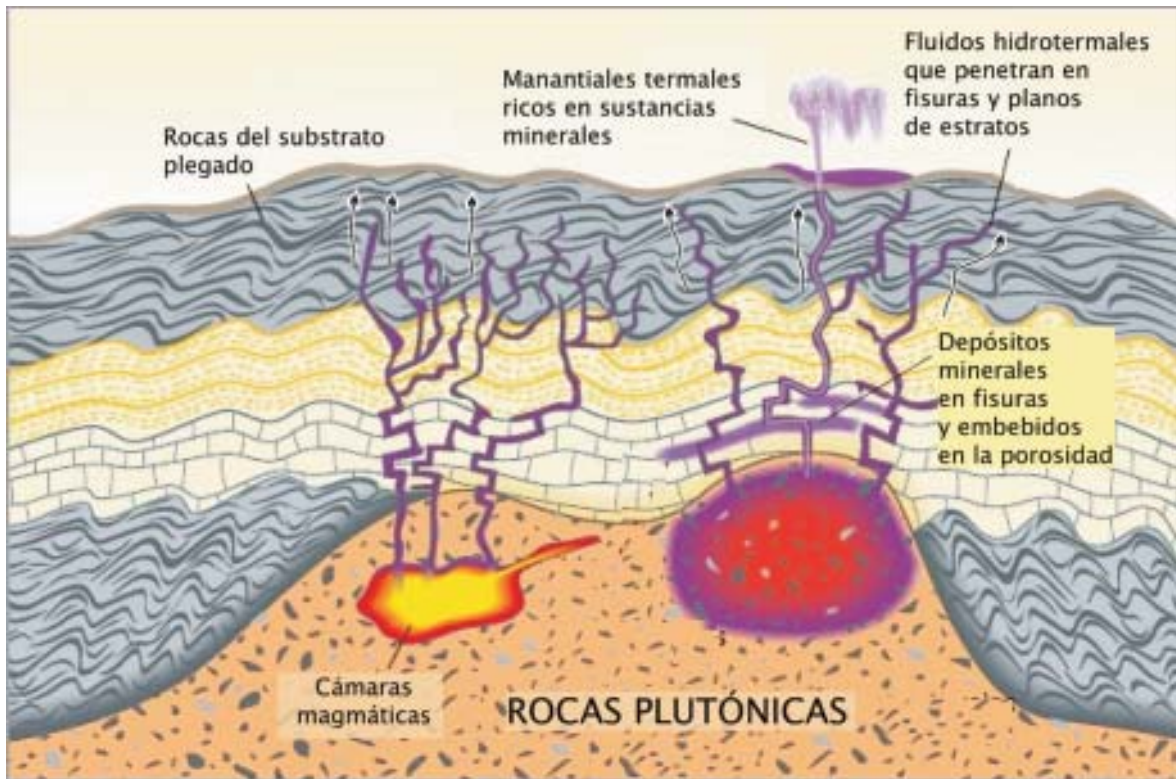


Fig. 10.1: Sistema de mineralización endógena, originada por la acumulación de minerales en la periferia de las cámaras magmáticas. (Adaptado del CD-ROM *Laboratorio de Geología Física*).

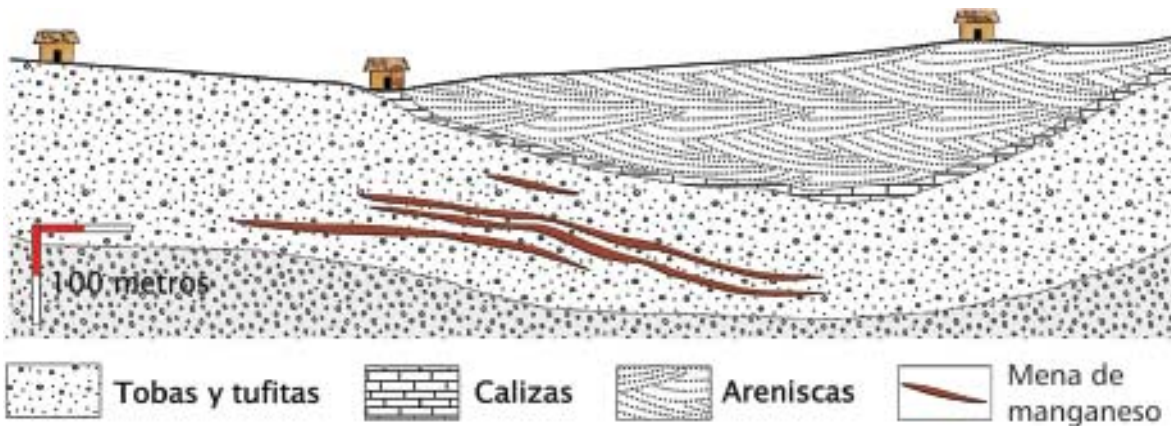


Fig. 10.2: Sistema de mineralización exógena en una cuenca marina con acumulación de minerales ricos en manganeso. Aquí las tobos y tufitas (así como las calizas y areniscas) se acumularon en el mar, en la periferia de volcanes explosivos. Las capas ricas en manganeso pueden contener abundantes restos fósiles. (Yacimientos de la Sierra Maestra).

cantidades de dientes de tiburón, que demuestran el origen sedimentario marino del depósito. Otro ejemplo de yacimientos exógenos son las lateritas ferroniquelíferas (Fig. 10.3), que se forman como consecuencia de la alteración (intemperismo) de rocas preexistentes. Por ejemplo, es frecuente que algunos elementos químicos se concentren en la zona de alteración superficial de los depósitos endógenos, en contacto con el agua y la atmósfera, y, de este modo, surgen los “sombreros de hierro”, que tienen la doble cualidad de indicar la presencia de un depósito endógeno y presentar algunos elementos en concentraciones importantes. Hay otros tipos de depósitos que no se comparan a los anteriores, pues toda la roca es de interés industrial (calizas, andesitas, y mármoles). En este caso, el origen endógeno o exógeno, se refiere a toda la roca, y no al mineral o mena en particular (Fig. 10.4).

Otro tipo interesante de depósitos son los *secundarios*. Estos se forman cuando una roca que contiene determinado mineral se intemperiza y erosiona, de manera que los minerales se concentran en las partes bajas del relieve. Un yacimiento especial de este tipo son las arenas de los ríos, ricas

en pepitas de oro, que fueron explotadas por los aborígenes cubanos. En este caso, el oro puede estar muy disperso en la roca original, pero las partículas de mineral se concentran en el proceso de disgregación de esa roca y el transporte de los detritos hasta el lecho del río.

Algunos yacimientos minerales

Sería muy extenso caracterizar los distintos tipos de *yacimientos minerales* de Cuba —de hecho, existen obras destinadas a ello—. Por esa razón, en los párrafos siguientes se ofrece una breve descripción de algunos tipos representativos de depósitos minerales cubanos.

Lateritas ferroniquelíferas. Los depósitos de lateritas de Fe–Ni–Co son la mayor riqueza mineral metálica que posee el país, se localizan en la región de Moa–Baracoa y en Pinares de Mayarí. Otras comarcas del país contienen recursos significativos de lateritas, las cuales no se encuentran en explotación, como son la Meseta de San Felipe (Camagüey) y las Lomas de Cajálbana (Pinar del Río). En menor proporción aparecen algunas capas de lateritas en San Miguel de Los Baños (Matanzas).

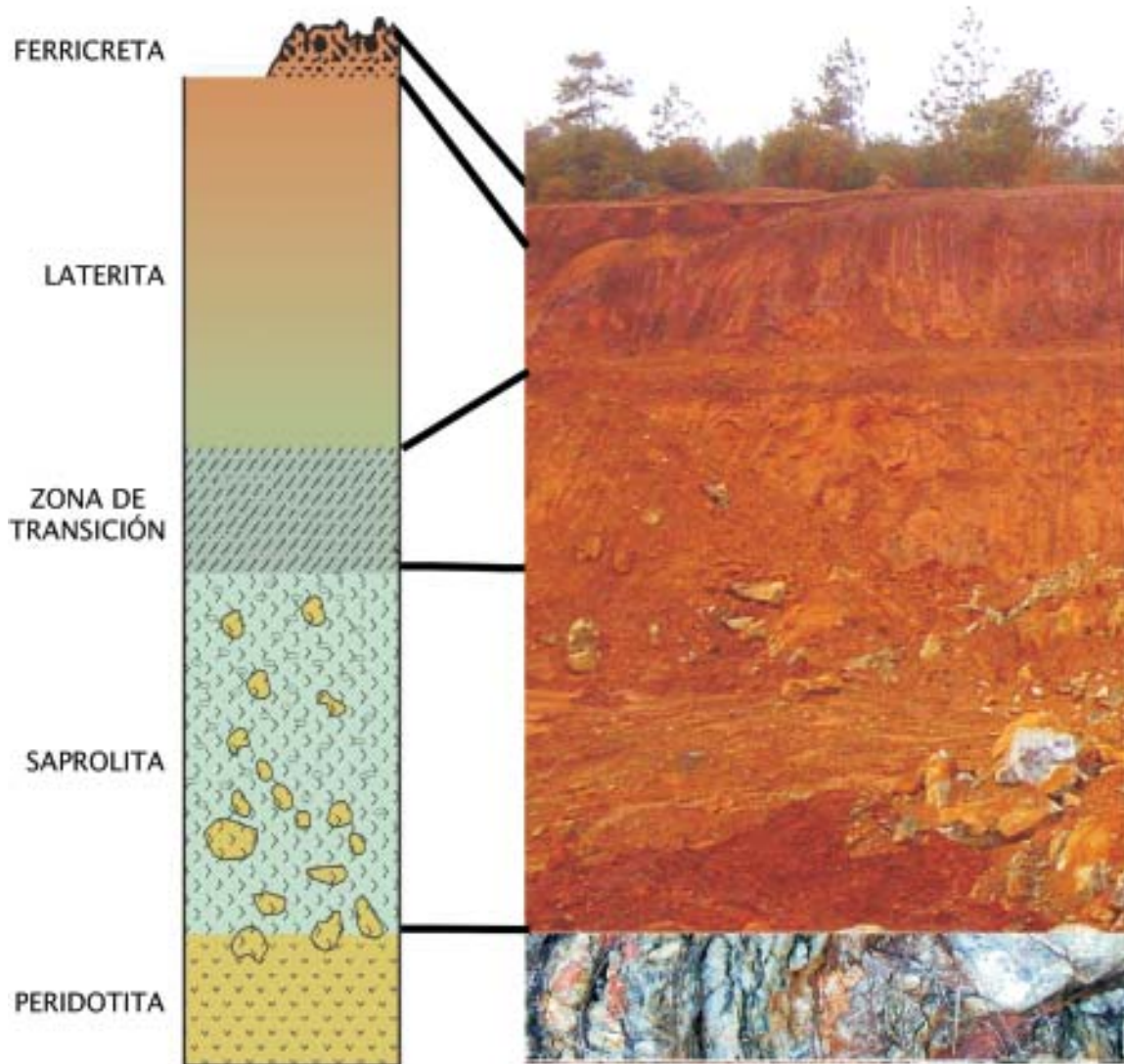


Fig. 10.3: Depósito mineral exógeno de lateritas ferroniquelíferas (adaptado de Joaquín Proenza) y un corte de lateritas (Moa, Holguín).



Fig. 10.4: Utilización de los minerales no metálicos en la construcción: 1. Muro ornamental con bloques de serpentinita (Varadero). 2. Losas de mármol gris de la Isla de la Juventud (Habana Vieja). 3. Calizas Jaimanitas en ornamentos exteriores del Palacio de los Capitanes Generales (Plaza de Armas, Habana Vieja). 4. Losas de mármol rosado de Real Campiña (Hotel en Varadero).

De acuerdo con los recursos totales obtenidos sumando las reservas y los recursos identificados, en Cuba hay más de 20 millones de toneladas de níquel. Están en explotación los yacimientos Punta Gorda, Yagrumaje, La Delta, Cantarrana y Piloto, Pinares de Mayarí, y Levisa.

Los depósitos minerales de lateritas ferroníquelíferas se forman en la superficie del terreno y hasta varios metros de profundidad, a causa de la alteración de las rocas máficas-ultramáficas por la acción combinada de las aguas de lluvia, los cambios de temperatura y los microorganismos del suelo. Este proceso, semejante al de la formación de suelos, provoca la concentración de algunos elementos químicos en las lateritas (Fe, Ni, Co), mientras que otros se infiltran por las grietas de las rocas hacia la profundidad (Mg, Si). De este modo, los suelos (lateritas) se convierten en importantes reservas de hierro, níquel y cobalto, contenidas en una serie de minerales de tipo óxidos e hidróxidos, los cuales constituyen las menas. Asimismo, en la profundidad, bajo las lateritas se localizan vetas de calcedonia, ópalos y magnesita, también de interés minero.

La figura 11.3 muestra el corte esquemático de una corteza de alteración laterítica o corteza de intemperismo, como se le llama a este tipo de depósito. Se indican los nombres con que se conocen las distintas partes del perfil.

Piedras semipreciosas. Bajo este término se agrupan depósitos de calcedonias, ópalos, xilópalos, ágatas, amatistas y jaspes, que, en su conjunto, son minerales a base de óxido de sílice. Algunos depósitos interesantes son La Rana, San Felipe, Loma Sin Nombre y Palmira. Las calcedonias, ágatas, amatistas y ópalos, a menudo, aparecen en forma de vetas, en la parte baja de las cortezas de intemperismo, pero pueden estar expuestas en la superficie del terreno cuando las lateritas han sido lavadas por la erosión. Hay piedras semipreciosas asociadas a las rocas sedimentarias y volcánicas que han sufrido alteración hidrotermal, donde aparecen como ve-

tas y nidos de diversas dimensiones. Asimismo, hay estratos de pedernales de origen sedimentario cuya dureza y coloración los convierte en depósitos de interés industrial. Se conocen algunas acumulaciones secundarias en conglomerados fluviales con abundantes cantos rodados de estos minerales.

Calizas y mármoles. Están identificados más de 300 depósitos de este tipo en toda Cuba, cuya composición es calcítica con variables contenidos de dolomita y arcilla. Forman capas masivas o pueden estar estratificadas en lajas de diversos espesores. Su calidad puede estar afectada por procesos de alteración, como la carstificación, el agrietamiento, la recristalización y la formación de suelos.

Las variedades más puras (mínimo desde 95 % de CaCO_3) se explotan como fuente de carbonato de calcio y cal, utilizables para la fabricación de papel, pienso, gomas, pinturas, plásticos, pasta dental, medicamentos, y cemento. Uno de los yacimientos más importantes es La Colina, en Tapaste (La Habana).

Las variedades marmóleas, que se presentan en colores y texturas variados, se explotan para usos decorativos, como enchapados, pisos y esculturas (Fig. 10.4). Existen varios yacimientos, como: Lagunillas, con las variedades *Arena Pinar* y *Marrón Varadero*; Cayos de San Felipe, variedad *Negro Cabañas*, en Pinar del Río; Real Campiña, en Cienfuegos, donde se distinguen dos variedades *Terracota Campiña* y *Rojo Campiña*; Cariblanca, en Sancti Spíritus, con las variedades *Rosa Purpúrea*, *Rosa Crema* y *Crema*; Rosa Aurora, Bottichino, Lego, Travertino Yara, Orquídea Sierra, El Ají y El Diamante, en la región Santa Rita-Jiguaní, Granma, con las variedades *Crema*, *Valle Bottichino*, *Amarillo Bottichino*, *Orquídea Sierra*. En la región de La Gran Piedra, Santiago de Cuba, también existen variedades de gran belleza. La presencia de estas hermosas rocas se puede apreciar en muchas viviendas, así como en edificios públicos de todo el país y en el extranjero, puesto que se han exportado volúmenes importantes (Fig. 10.4).

Hay dos variedades de calizas que se utilizan con fines constructivo-decorativos. Una es la *Piedra Jaimanitas*, que se viene explotando desde la etapa de la Colonia, con la cual se construyeron las fortalezas de La Punta, El Morro, La Cabaña y La Fuerza, donde se utilizó en forma de bloques. También se aprovecha para enchapado de paredes y como loza de suelo. Donde esta roca alcanza su mayor esplendor —en su carácter decorativo— es en numerosos edificios de la Habana Vieja. El principal yacimiento del tipo Jaimanitas, está situado al oeste de La Habana, pero existen otros en Matanzas y en Holguín. La otra variedad es *Piedra Capellania*, cuyo yacimiento está al oeste de La Habana.

En la región de La Habana–Matanzas se explotan yacimientos de una caliza margosa o calcarenita blanda de edad miocénica, fácil de aserrar por medios artesanales, de la cual se extraen los llamados cantos o bloques de cantería. Muchas viviendas y edificaciones públicas en La Habana y Matanzas están construidas con estos componentes.

La industria de los áridos de trituración explota numerosos yacimientos por todo el país, constituyendo la principal fuente de materias primas minerales para la construcción. Para estos propósitos se aprovechan las canteras de calizas, como La Reforma en Pinar del Río, Camoa y Somorrostro en La Habana, Regalito de Maya-Aeropuerto en Matan-



Fig. 10.5: Cantera de extracción de caliza para áridos (falda meridional de la Sierra de Cubitas, Camagüey).



Fig. 10.6: Zeolitas naturales: 1. Aspecto del yacimiento en explotación. 2. Uso de la zeolita granulada en la agricultura urbana (zeopónico). (Cortesía de Jorge Febles).

zas, El Purio en Villa Clara, Guayo-Nieves Morejón en Sancti Spíritus, Chambas en Ciego de Ávila, Sierra de Cubitas en Camagüey (Fig. 10.5); Cañada Honda en Las Tunas, Cerro Yabazón en Holguín, El Cacao en Granma, y La Inagua en Guantánamo. Depósitos de otros tipos de rocas utilizados para estos mismos fines, son la calcarenita Peñalver, las andesitas Arriete, y los granitoides Palo Seco. En esta última se montó en 1901 una planta de trituración de áridos que durante 70 años fue la más grande de Cuba.

Otra industria importante que consume rocas sedimentarias es la del cemento, que utiliza calizas, margas, arcillas, arena cuarzosa, caolín y yeso. Esta industria cuenta con seis fábricas de cemento gris (Portland), ubicadas en Mariel, Artemisa, Cienfuegos, Siguaney, Nuevitas y Santiago de

Cuba. En Siguaney (Sancti Spiritus), también se produce cemento blanco. En 1895, en La Habana se construyó la primera planta de producción de cemento.

Zeolitas. Se conocen más de 50 depósitos de tobas zeolitizadas, donde la composición predominante es mordenítica-clinoptilolítica, con variables contenidos de celadonita, montmorillonita, calcita y cuarzo. El contenido de minerales zeolíticos en estos depósitos es irregular, promediando 70 % de concentración. Se utilizan en una variedad de aplicaciones en las industrias agropecuaria, del cemento, y en la medicina. En el país, existen cuatro plantas de zeolitas con un alto potencial de producción, ubicadas en La Habana, Villa Clara, Camagüey y Holguín. Los usos de este mineral son múltiples (Fig. 10.6).

Recursos de petróleo y de gas natural

Dra. Silvia Valladares Amaro
Dr. Rafael Tenreiro Pérez

El nombre del petróleo proviene del latín (*pe-tra*, piedra y *oleum*, aceite), o sea, “aceite de piedra”, como se denominó en la antigüedad el líquido aceitoso que brotaba a la superficie a través de las grietas en el terreno.

Breve historia del petróleo

En los trabajos de Herodoto (siglo V a.n.e.), Plutarco, Plinio El Viejo (siglo I a.n.e.), y otros pensadores de la antigüedad, se describen fuentes de petróleo ubicadas en la India, Persia, Mesopotamia, Siria y en las islas del Mediterráneo. Plutarco, al describir las campañas de Alejandro Magno (siglo IV a.n.e.), habló de los manantiales de petróleo descubiertos en Amu Daria y en la costa del Mar Caspio. Hipócrato (siglos V–IV a.n.e) médico de la antigua Grecia elaboró muchos remedios en cuya composición aparecía el petróleo. El petróleo, en sus inicios, se utilizó para el alumbrado, tanto el líquido, como los asfaltos y bitúmenes.

El petróleo se ha empleado también para calafatear embarcaciones, como impermeabilizante, como cemento o pega en las construcciones y en aplica-

ciones medicinales. Hoy día, el petróleo constituye la base de una compleja industria de derivados; además, se considera el recurso energético más importante en la historia de la humanidad: un recurso natural no renovable que aporta el mayor porcentaje del total de la energía que se consume en el mundo moderno. En 1859, Edwin L. Drake perforó el primer pozo para la extracción comercial de petróleo, con vistas a la producción de querosén para la iluminación. Este se considera el inicio de la industria petrolera, aunque se sabe que rusos y canadienses, asimismo, perforaron sus primeros pozos entre 1806 y 1819.

Entre las primeras investigaciones sobre hidrocarburos se puede citar el trabajo de A. Bachiller y Morales sobre *betún mineral*, aparecido en 1839, y el de M. Fernández de Castro sobre las *minas de asfalto* en las inmediaciones de La Habana, publicado en 1859. La exploración de hidrocarburos en Cuba comienza en fechas tan tempranas como 1881, cuando se descubrió, cerca de Motembo, un pozo de nafta (petróleo muy ligero) (Tabla 11.1). Al respecto, Claudio de la Vega publica, en 1883, *Memoria histórica de las minas de nafta de San Juan*

de Motembo. De igual modo ve la luz el trabajo de H. H. Stokes en 1891 sobre un petróleo de Cuba, y se divulgan otros sobre los depósitos de asfalto de Cárdenas y Banes por J. L. Hance (1895) y B. Rodríguez (1896), respectivamente. En el siglo xix, se hacen las evaluaciones más generales sobre la presencia de este recurso en Cuba, llevadas a cabo por el geólogo norteamericano E. L. De Golyer, quien publica un trabajo científico en 1918, seguido por otros del mismo corte, divulgados en esa misma época por H. J. B. Laforgue (1918) y el

cubano Pablo Ortega (1918). Hasta 1960 una actividad exploratoria limitada lleva al descubrimiento de algunos campos pequeños. Después que la Revolución nacionalizó la industria, se forma la compañía de petróleo estatal, con la cual la exploración se comenzó a realizar de una manera más sistemática. A medida que se han ido descubriendo nuevos campos, la exploración ha aumentado y se han incorporado nuevas tecnologías. El campo más grande (Varadero) tiene estimados sus recursos en más de 2 000 millones de barriles.

TABLA 11.1

Algunos yacimientos de petróleo y de gas en Cuba

Yacimiento	Provincia	Fecha
Bacuranao	La Habana	Descubierto en 1917
Camarioca	Matanzas	Descubierto en 1977
Canasí	Matanzas	Descubierto en 1999
Cantel	Matanzas	Descubierto en 1974
Cupey	Matanzas	Descubierto en 1994
Guanabo	Matanzas	Desarrollado desde 1968
Guásimas	Matanzas	Descubierto en 1977
Jarahueca	Villa Clara	Explotado desde 1941
Jaruco	La Habana	Descubierto en 1971
Jatibonico	Sancti Spiritus	Descubierto en 1955
Majaguillar	Matanzas	Descubierto en 1990
Motembo	Villa Clara	Descubierto en 1881, Es el yacimiento más antiguo de Cuba
Pina	Sancti Spiritus	Descubierto en 1991
Yumurí	Matanzas	Descubrimiento en 1996

NOTA: Cortesía de CubaPetróleo.

Composición y origen del petróleo

Este hidrocarburo puede hallarse en estado sólido, líquido o gaseoso. Al petróleo líquido se le conoce como “crudo” y al gas como “gas natural”. Con relativa frecuencia, al petróleo se le llama “oro negro”. En la mayoría de los casos, el petróleo es un líquido viscoso y negruzco, pero también se le encuentra en una amplia gama de colores, desde transparente como en Motembo, hasta ambarinos, verdosos y azulados con diferentes tonos tornasolados.

El crudo o petróleo crudo, desde el punto de vista químico, es una mezcla natural de hidrocarburos (moléculas de hidrógeno y carbono) y otros com-

puestos. Los hidrocarburos más simples, como el metano (CH_4), consisten de un átomo de carbono que se asocia con cuatro átomos de hidrógeno. Los más complejos, como la parafina, están constituidos por varios átomos de carbono e hidrógeno formando largas cadenas, ramas y anillos. Dada su composición, los hidrocarburos pueden ser gaseosos, líquidos y sólidos. En condiciones naturales, el petróleo y el gas se encuentran mezclados con agua salada y compuestos de oxígeno, nitrógeno, azufre y metales.

Por ello, cada petróleo es una mezcla única, que varía de yacimiento a yacimiento, de pozo a pozo;

incluso, a distintas profundidades en un mismo pozo. En muchos casos el petróleo producido por un pozo en un mismo nivel, cambia de composición durante el período de explotación, puesto que afluyen otros petróleos desde el entorno de la capa productora. Las moléculas más pequeñas componen el gas natural, que incluye hidrocarburos ligeros como el metano, el nitrógeno y el anhídrido carbónico; las moléculas mayores se mantienen en forma líquida o sólida.

Según la teoría más aceptada, el petróleo y el gas natural se originan a partir de la materia orgánica conservada en las rocas sedimentarias que se forman en el fondo del mar debido a la presencia de numerosos restos de organismos, en un medio donde no había oxígeno libre (anóxico). En estas condiciones no tiene lugar la oxidación y destrucción de las moléculas orgánicas, pues no hay oxígeno libre. Esa materia orgánica está compuesta mayormente por fitoplancton y zooplancton marinos, junto con restos de vegetales y animales. Algunas personas creen que el petróleo se formó sobre la base de la descomposición de los cuerpos de los dinosaurios y otros animales enormes como ellos, pero esto no es cierto, pues se ha formado petróleo a partir de rocas de épocas en que no existían esos animales.

Para que se formen los hidrocarburos a partir de rocas con alto contenido de materia orgánica (denominadas *rocas madre*), es necesario que estas capas se hundan a gran profundidad en la corteza terrestre, donde son sometidas a mayores temperaturas y presiones que en la superficie. Así ocurre lo que se puede imaginar como la *cocción* de la materia orgánica, esto es, una serie de reacciones químicas que producen pequeñas gotitas y burbujas de hidrocarburos. Este proceso tiene lugar en el transcurso de muchos millones de años y continúa hasta el presente. Por tanto, la cantidad de petróleo que se forme depende del volumen de roca madre que se hunda en la profundidad. Sin embargo, los mismos procesos pueden resultar en la formación de

asfalto, carbones minerales y grafito, cuando hay pérdida de hidrocarburos gaseosos en condiciones de presión y temperatura excesivas.

En general, el gas natural se encuentra a profundidades mayores de seis kilómetros y el petróleo, con o sin gas acompañante, a menos de tres kilómetros. Cuando se encuentra un yacimiento que produce petróleo y gas, este último se denomina “gas acompañante”, pero si el yacimiento contiene solo gas, entonces se le llama “gas libre”. Casi siempre el petróleo líquido se encuentra acompañado de gas y agua.

El petróleo se localiza en el subsuelo ocupando los espacios abiertos (poros y grietas) de las rocas, principalmente en las gravas, areniscas, dolomías y calizas, pues a menudo tienen una alta porosidad original. Es algo así como el agua que empaapa una esponja rígida. A las rocas que tienen la capacidad de contener hidrocarburos en condiciones naturales se les denomina *reservorio*, pues constituyen el almacén donde están acumulados esos productos. En ningún caso existen lagos, ni mucho menos ríos o corrientes subterráneas de petróleo. Por consiguiente, no es cierto que cuando se extrae petróleo quedan enormes vacíos en el interior de la Tierra, pues los poros son ocupados por las aguas subterráneas.

Geología del petróleo

Desde los mismos comienzos de la exploración del petróleo, se empezó a investigar la configuración estructural (geometría) de los yacimientos. Se determinó que las estructuras que formaban los mayores depósitos eran anticlinales, y se profundizó en su estudio. Asimismo, se detectaron acumulaciones petrolíferas en domos salinos, así como en lentes de arena embebidos entre capas poco porosas. Se avanzó mucho en las investigaciones de los procesos de formación de los yacimientos, la porosidad y el agrietamiento de las rocas sedimentarias, y se relacionaron estos parámetros con el origen de

las rocas y sus transformaciones posteriores. Se constató que el petróleo proviene de formaciones o capas de diferentes edades geológicas (Tabla 2.1). También se corroboró la existencia de ciertas edades donde se acumuló más roca madre mientras en otras épocas se originan depósitos formadores de petróleo. De ahí que la estratigrafía alcanzara un gran auge en esta época.

La *estratigrafía* es la rama de la geología que estudia el origen y las transformaciones de las rocas sedimentarias, así como la sucesión natural de los estratos de acuerdo con el tiempo en que se formaron. Las rocas sedimentarias por lo general se acumulan en las partes bajas del relieve y pueden tener capas que yacen, desde horizontal hasta muy inclinadas; usualmente las más jóvenes sobre las más antiguas. Pero en el transcurso de los procesos geológicos, la posición original de los estratos puede modificarse y entonces es necesario determinar su antigüedad para reordenarlos y comprender mejor cómo están deformados. Puesto que las rocas sedimentarias constituyen los principales yacimientos y campos petrolíferos del mundo, estas han sido objeto de minuciosas investigaciones.

La teoría moderna del petróleo se basa en el estudio de cuatro elementos o categorías geológicas y cinco procesos fundamentales que integran el *sistema petrolero* (Fig. 11.1). Las categorías son rocas

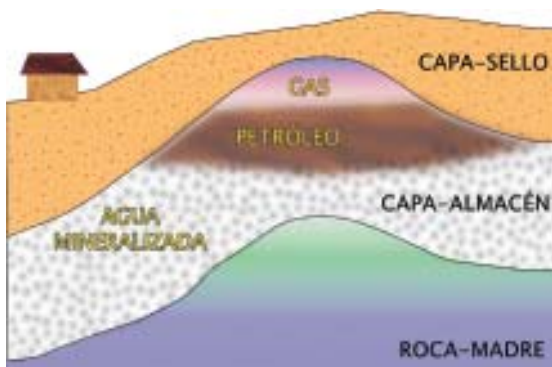


Fig. 11.1: Componentes de un sistema petrolero, en el caso de un depósito conservado en una trampa anticlinal.

madre, reservorio, trampa y sello; y los procesos son generación, expulsión, migración, acumulación, y tiempo de conservación del petróleo y el gas. El conjunto de elementos geológicos y procesos mencionados determina la posible existencia de yacimientos de petróleo y (o) gas.

Sistemas petroleros

Roca madre. Son aquellas que tienen originalmente una gran concentración de materia orgánica, susceptible bajo condiciones adecuadas, de generar petróleo y gas. No todas las rocas sedimentarias tienen una concentración original de materia orgánica suficiente para generar petróleo. Hubo etapas específicas de la historia de la Tierra en que la acumulación de este tipo de materiales ocurrió en mayor volumen y extensión. Las arcillas negras bituminosas (en inglés, *black shales*) o calizas negras bituminosas son excelente roca madre. En Cuba, las rocas madre son calizas y arcillas negras de edades jurásica y cretácica, sin embargo en Venezuela, son del Cretácico y el Eoceno, y en México, hay rocas madre incluso del Oligoceno y el Mioceno. Por ello no se puede decir que las rocas madre tienen que ser, necesariamente, muy antiguas.

Reservorios. Son conjuntos de capas rocosas que tienen la capacidad de acumular líquidos y gases. A esta capacidad se le denomina *porosidad*, y se define como la relación entre el volumen de espacio vacío y el volumen total de la roca porosa. Las gravas y arenas son muy porosas, por la forma de los granos de arena, así como las calizas, porque contienen restos de organismos porosos (como los corales), y las dolomías porque al formarse los cristales de dolomita se incrementa la porosidad.

Este concepto de porosidad es básico en la geología del petróleo y aguas subterráneas, en especial la *porosidad activa*, que refleja la interconectividad entre los espacios vacíos en la roca. Es obvio que no es lo mismo que una roca tenga espacios vacíos aislados entre sí, a que estos estén conecta-

dos de algún modo por grietas o intersticios entre sus componentes. La porosidad de los reservorios puede variar entre 10 % y 25 %. Para reflejar la porosidad activa de una roca se definió el concepto de *permeabilidad* como la velocidad con que se desplazan los gases y líquidos por su interior. Este parámetro se expresa en *metros por día* (m/d), y varía de acuerdo con la porosidad activa y la viscosidad del fluido. Para que una roca sea un buen reservorio (almacén), debe tener porosidad y permeabilidad altas. La figura 11.2 expone un ejemplo de porosidad intergranular activa en medios porosos y agrietados, donde los fluidos se mueven por el espacio entre los granos y a lo largo de las grietas.

Sellos. Para que se forme un yacimiento no basta con que existan la roca madre y el reservorio, pues para que se conserven los hidrocarburos es necesario, que el movimiento de estos fluidos sea confinado dentro de ciertos límites. Este papel lo desempeña el “sello”, “roca-sello” o “capa-sello”, que son, por lo general, capas poco porosas y con muy baja permeabilidad, de modo que no dejan pasar a través de ellas el petróleo y el gas. Los sellos más comunes son rocas arcillosas, pizarras, yeso y anhidrita. La identificación de la edad y la posición de los sellos en las regiones de interés petrolero es muy importante, pues si no hay sello no hay yacimiento. Su papel es fundamental, puesto que los hidrocarburos tienen la tendencia a migrar de las zonas de mayor presión (en la profundidad de la tierra) hacia las zonas de menor presión y hacia la superficie del terreno. La presencia de sellos puede evitar que los hidrocarburos circulen libremente hacia la superficie y se destruyan por la actividad bacteriana y los procesos de oxidación y evaporación.

Trampas. Son las estructuras geológicas capaces de contener acumulaciones de petróleo y gas en el subsuelo. Por ejemplo, una capa de rocas agrietadas que esté expuesta a la superficie terrestre, canaliza los hidrocarburos hacia el exterior y se evaporan. En muchos lugares de la parte centro-norte de la isla de Cuba se encuentran manantiales de petróleo

y asfalto, por donde se han perdido inmensos volúmenes. Esto se debe a la ausencia de una estructura adecuada y a la no existencia de sellos. Por consiguiente, la presencia de “trampas” es lo que garantiza la acumulación de petróleo y gas. Una trampa es la adecuada estructura o disposición geométrica de las rocas que permite la acumulación de los hidrocarburos. A menudo las trampas son pliegues (rizos, curvaturas) de las rocas que forman estructuras cupulares parecidas a un “plato hondo invertido”. Los anticlinales y domos de sal constituyen los almacenes naturales más frecuentes, esto es, las trampas principales. El primordial y más laborioso objetivo de la exploración petrolera consiste, por tanto, en el descubrimiento de estas estructuras en la profundidad, determinar sus dimensiones, y la presencia de rocas que sirvan de reservorio y sello.

Los *procesos del sistema petrolero* son los que transcurren desde el momento en que la roca madre comienza a ser sometida a cocción en la profundidad, hasta que el petróleo brota del subsuelo. Estos son mucho menos tangibles que los componentes físicos del sistema petrolero recién analizado, pues no pueden ser medidos o evaluados en el momento de su ocurrencia, puesto que, en la mayoría de los casos, se trata de eventos que ocurrieron hace muchos millones de años.

La ciencia del petróleo ha profundizado en los procesos que provocan la transformación de materia orgánica en hidrocarburos, los cuales son segregados en la roca madre y comienzan su existencia como un conjunto de sustancias independientes. Este fluido debe ir acumulándose en los poros, a lo largo de los planos entre estratos y por las grietas que atraviesan la roca madre. Después, ellos deben salir fuera de la roca madre, hacia la dirección donde haya menos presión. En este camino alcanzan la frontera externa de la roca madre generadora y los hidrocarburos pasan a desplazarse por el medio rocoso. Entonces se pueden encontrar con rocas muy agrietadas y porosas, que faciliten su movimiento, y la migración de estos productos puede conducir

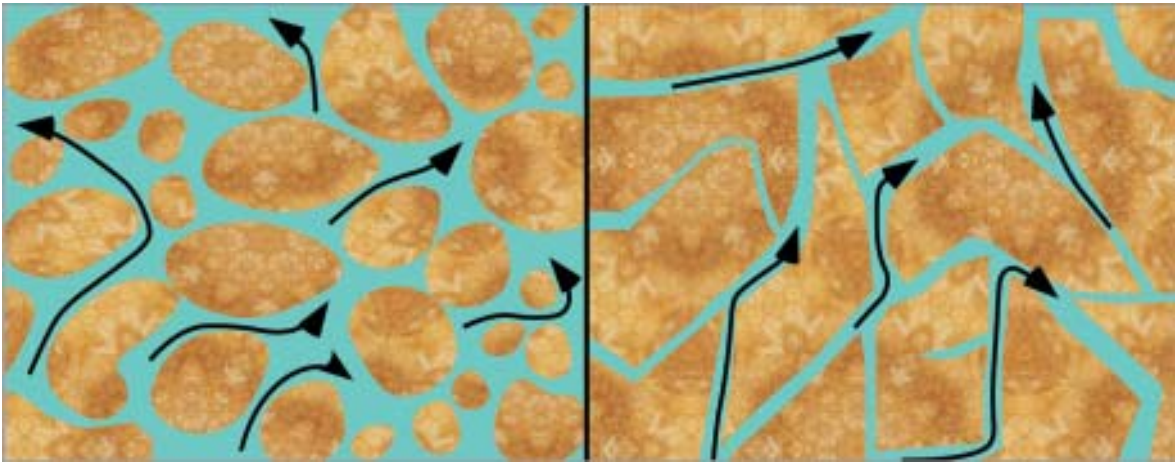


Fig. 11.2: Permeabilidad causada por la porosidad granular o los intersticios entre grietas. En ambos casos el fluido (líquido o gaseoso) puede ocupar los espacios “vacíos” y desplazarse (flechas) entre los poros y a lo largo de las grietas.

dos destinos: llegar a la superficie y perderse, o quedar atrapados en los reservorios. Por ello, el volumen de hidrocarburos que se acumule en el subsuelo depende tanto de la capacidad generadora de la roca madre, como del volumen de espacio disponible en la trampa-reservorio. Estos factores dependen solo de la estructura geológica de la región, por lo cual es muy importante conocer bien la constitución geológica de las regiones con perspectivas petroleras, con vistas a determinar cómo y cuándo tuvo lugar la conservación de los hidrocarburos en el yacimiento. Un proceso que nunca termina es la transformación y maduración de los hidrocarburos, pues desde que estos se forman, comienzan a interactuar con el medio rocoso y las aguas subterráneas, de modo que va modificándose su composición. El producto final depende entonces de la historia de formación, las vías de migración y el tiempo transcurrido desde que el petróleo se almacenó en el subsuelo.

Métodos geólogo-geofísicos de exploración

Los depósitos de petróleo y gas tienen extensión regional y están asociados con determinadas estructuras y procesos que ocurren en algunos territorios. La *exploración* consiste en determinar los “escena-

rios exploratorios” y localizar los distintos componentes de los sistemas petroleros, utilizando distintos métodos de investigación geológica y geofísica. Desde el siglo XIX comienza a utilizarse como criterio de exploración la teoría de la búsqueda de “anticlinales”.

La *cartografía geológica* fue la primera técnica que se aplicó para encontrar depósitos petrolíferos, y hoy sigue utilizándose. Se trata de elaborar mapas de los tipos de rocas presentes en determinado territorio, según su composición, antigüedad y origen, así como de las estructuras que presentan estas rocas, en especial, los pliegues anticlinales sinclinales y las fallas. Este trabajo incluye un catastro de todos los brotes de petróleo, aguas minerales, gases, etc. En la actualidad los estudios geológicos abarcan una gran variedad de ramas especializadas, como son la estratigrafía, la sedimentología, la petrología, la paleontología, y la geocronología, entre muchas otras. Sobre esta base, con el desarrollo de la tecnología comenzaron a aplicarse técnicas de detección a distancia, utilizando las propiedades físicas de las rocas. Estas técnicas de la geofísica incluyen la gravimetría (se basa en la densidad de las rocas), la magnetometría (estudia las características magnéticas), la sísmica [relacio-

nada con la velocidad del desplazamiento de las ondas elásticas (Fig. 11.3)], la prospección eléctrica y electromagnética (utiliza las propiedades de resistividad y conductividad de las rocas), los métodos de teledetección aérea y satelital (se aprovechan, tanto imágenes fotográficas, como de falso color usando distintas zonas del espectro de luz reflejada) y las técnicas nucleares (emplean las propiedades radiactivas de las rocas). Todos los métodos se fundamentan en la cuantificación de las diferencias y los contrastes que existen entre estas propiedades de los campos físicos. La resolución de estos métodos ha ido perfeccionándose, así como las tecnologías de adquisición, procesamiento e interpretación de los datos. Todas estas metodologías dependen del desarrollo de las técnicas de procesamiento de imágenes y de interpretación de los campos físicos.

Con este conjunto de técnicas geológicas y geofísicas, se confeccionan mapas, perfiles, bloques-diagrama y holografías digitales de los campos petroleros, los cuales sirven para elaborar los modelos de búsqueda y exploración, y con estos localizar los escenarios más perspectivas para el hallazgo de hidrocarburos. Sobre esta base se seleccionan

los sitios para instalar los pozos de exploración, que al final “dirán la última palabra”.

La perforación de los pozos. La perforación de los pozos es la culminación de un proceso de investigación extenso. Es común la idea de que el petróleo “brotó a chorros” cuando se descubre, como ocurría en los inicios de la industria petrolera. Hoy día no es así, pues para evitarlo, desde el comienzo de la perforación se coloca en la boca del pozo un conjunto de pesados equipos con diversas válvulas “preventoras”.

A la par del desarrollo de las técnicas de perforación evolucionó la geofísica de pozos o carotaje. Hoy se emplea una sonda dotada de un conjunto de instrumentos de medición en miniatura, la cual se hace descender al pozo después de perforado. Los registros obtenidos con esta sonda facilitan un conjunto de datos valiosísimos durante la exploración y explotación de los campos petroleros (diámetro del pozo, grado y rumbo de la inclinación del sondeo, presencia de cavernas y sus dimensiones, conjunto de propiedades físicas de las rocas atravesadas por la perforación, fotos de las paredes del pozo). Todos estos datos se sintetizan en la columna del pozo (Fig. 11.4).

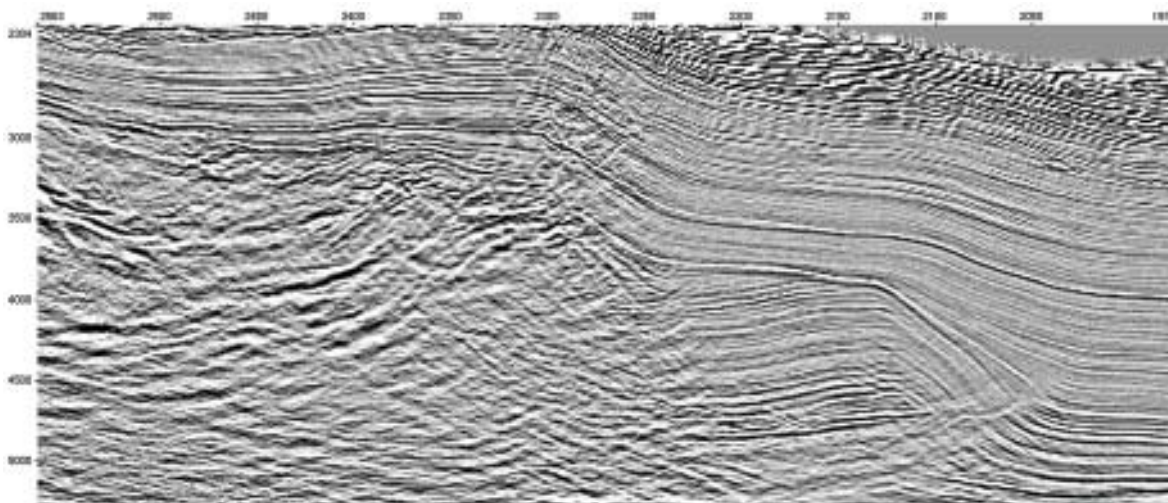


Fig. 11.3: Perfil sísmico donde se observa la estructura del subsuelo como en una radiografía. (Cortesía de CubaPetróleo).

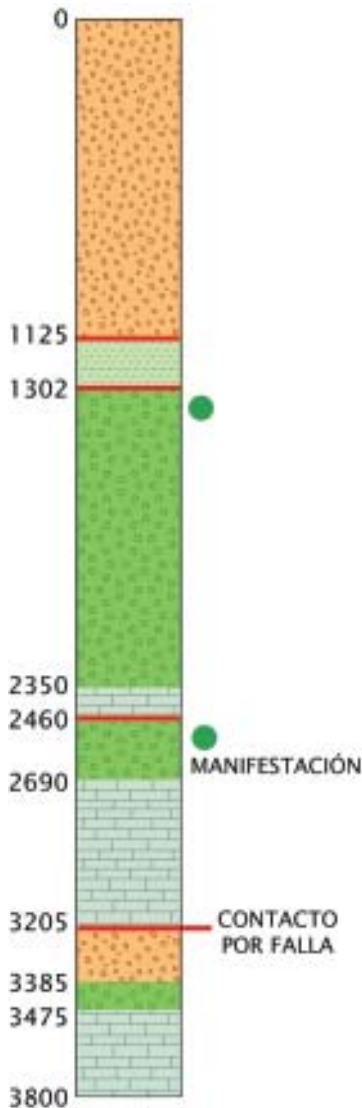


Fig. 11.4: Registro litológico de un pozo de prospección para petróleo y gas. Los colores representan las edades y los símbolos el tipo de roca. A la derecha se muestra los lugares donde hubo manifestaciones de hidrocarburos (Cortesía de CubaPetróleo).

Yacimientos de petróleo de Cuba

Las “provincias petroleras” son determinadas áreas del país cuya constitución geológica es favorable para la presencia de hidrocarburos. En cada provincia petrolera están presentes ciertos tipos de trampas, lo que se conoce como *escenario exploratorio*. Cuba y su plataforma insular se dividen en dos provincias petrolíferas: la Septentrional y la Meridional (Fig. 11.5). La provincia Septentrional está constituida por rocas sedimentarias de origen marino, de hasta 200 millones de años de antigüedad, las cuales están deformadas en numerosos pliegues y fallas que definen fajas alargadas del NW al SE. Las rocas madre son del Jurásico y Cretácico inferior, en tanto que los principales sellos son rocas arenociliosas del Paleoceno y el Eoceno.

Las zonas de mayor prioridad para la exploración petrolera son:

- I. Norte de La Habana-Matanzas y sureste del Golfo de México
- II. Cuba central, desde Villa Clara hasta Ciego de Ávila
- III. Cuba centro-oriental, de Camagüey a Holguín
- IV. Norte de Pinar del Río

La provincia Meridional comprende rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas del Jurásico y Cretácico, cubiertas por rocas sedimentarias del Paleoceno y Eoceno. Esta es la región menos explorada de Cuba, por lo que tiene limitadas reservas descubiertas (ver Fig. 11.5).

Estado actual de la exploración petrolera. Desde 1994 se ha perforado una veintena de pozos de exploración petrolera, entre los cuales han sido productivos, o con perspectivas, los realizados en la provincia Septentrional (Fig. 11.6). A partir de 1999 el gobierno cubano tomó la decisión de abrir su Zona Económica Exclusiva del Golfo de México a la exploración petrolera. La zona comprende la parte occidental del Estrecho de la Florida, el sur del Golfo de México y el Estrecho de Yucatán. El límite de esta zona de exploración en aguas marinas profun-

das, son las fronteras marítimas con los Estados Unidos de América y México. Las investigaciones geofísicas demostraron el alto potencial de la zona (Fig. 11.3), pues descubrieron capas de rocas sedimenta-

rias de gran espesor con enormes estructuras anticlinales, y los resultados de los pozos perforados por el Programa de Perforación de los Océanos (ODP) muestran que allí existe un sistema petrolero activo.



Fig. 11.5: Zonas con recursos y(o) perspectivas de petróleo y gas en Cuba. Los límites de las zonas son aproximados (Adaptado de CubaPetróleo).



Fig. 11.6: Dos estaciones de perforación para petróleo y gas (región norte de La Habana y Matanzas). La que se encuentra en el litoral realiza pozos inclinados hacia el mar, a fin de explotar los recursos que yacen en la plataforma insular.

Rehabilitación de las áreas minadas

*Ing. Mabel Rodríguez Romero
Dr. José A. Díaz Duque*

En la legislación cubana actual existen la Ley de Minas y la Ley de Medio Ambiente, las cuales promueven el uso racional de los recursos naturales y la protección del medio ambiente cubano. En estos incisos se expone brevemente el papel de estas leyes en relación con la rehabilitación de las áreas minadas y la protección del medio ambiente.

Ley de Minas

La Ley de Minas, aprobada en 1995, tiene como objetivo establecer la política minera y las regulaciones jurídicas que garanticen la protección, el desarrollo y el aprovechamiento racional de los recursos minerales en función de los intereses de la Nación. Define que la *autoridad minera*, encargada de velar por el cumplimiento de la ley, es la Oficina Nacional de Recursos Minerales, de acuerdo con el Decreto 222 (Reglamento de la Ley de Minas), de septiembre de 1997.

La Ley 76 permite al concesionario ejecutar las actividades mineras solamente sobre los recursos minerales consignados en la concesión otorgada, aunque autoriza, cumpliéndose con los requisitos y

procedimientos previstos en la Ley o su Reglamento, extender las actividades a un nuevo recurso. También puede detener las actividades autorizadas, o parte de estas, si estuviera en peligro el aprovechamiento de un nuevo recurso y este fuera de mayor interés para el país.

La Ley define y controla las actividades mineras, desde la solicitud de la concesión para realizar las investigaciones, hasta el mismo momento en que se inician las operaciones de extracción en la concesión otorgada, pasando por todo el proceso de prospección, exploración y desarrollo de las operaciones mineras, incluido el momento cuando el agotamiento o el abandono del recurso conduce al cierre de las operaciones mineras y el comienzo de las actividades de rehabilitación. La Ley obliga a observar todas las regulaciones ambientales establecidas e iniciar la rehabilitación de las áreas minadas, desde el mismo momento en que estas tareas sean compatibles con los trabajos mineros. Las cuatro ramas principales de la minería de minerales sólidos desarrolladas en Cuba son la explotación del níquel, el cobre, el oro y las rocas y minerales industriales. Desde el inicio de las actividades mineras a nivel industrial en

Cuba, la rehabilitación de las áreas minadas no estuvo comprendida bajo ninguna regulación legal, a pesar de que las operaciones mineras provocan grandes impactos en el terreno y el paisaje. En el presente, amparados tanto por la Ley de Minas, como por la Ley de Medio Ambiente, los proyectos de explotación minera tienen incorporadas tareas de rehabilitación que contemplan, incluso, parte de las áreas degradadas antes de emitirse estas leyes. Sin embargo, existe un importante excedente por rehabilitar como consecuencia de una herencia de muchos decenios de explotación incontrolada.

Es tarea de los proyectistas de las actividades de explotación minera, y de las empresas de explotación y de procesamiento del mineral, procurar que las afectaciones al medio ambiente sean reducidas al mínimo, y que la recuperación o rehabilitación del paisaje natural ocurra tan pronto como sea factible. Algunos de los impactos ambientales que puede producir la actividad geólogo-minera se relacionan en la tabla 12.1.

Legislación ambiental cubana. Su relación con los recursos mineros

En el ordenamiento jurídico cubano, las disposiciones normativas que regulan la conservación, la protección, el mejoramiento y la transformación del medio ambiente, así como el uso racional de los recursos, se caracterizan por tener diferentes rangos —los cuales abarcan, desde leyes, hasta normas técnicas— y por poseer una dispersión originada en la facultad legislativa que le está otorgada a cada uno de los Organismos de la Administración Central del Estado, que son, a su vez, rectores de recursos naturales específicos.

La Ley 81 (Ley de Medio Ambiente), aprobada por la Asamblea Nacional del Poder Popular en julio de 1997, constituye el elemento básico de la Legislación Ambiental Cubana. Esta se erige en ley marco para todas las actividades ambientales y el uso racional de los recursos naturales. Entre los ob-

jetivos de la ley está la creación de un contexto jurídico que favorezca la proyección y el desarrollo de las actividades socioeconómicas en forma compatible con la protección del medio ambiente y la promoción de la acción ciudadana en ese sentido, a partir de una mayor conciencia y educación a través de diferentes vías.

Otros importantes cuerpos jurídicos ambientales son la Ley 85 (Ley Forestal), así como los decretos leyes, decretos y resoluciones que norman las actividades relacionadas con las áreas protegidas, los ecosistemas costeros, las contravenciones ambientales y los procedimientos para la realización de las evaluaciones de impacto ambiental, entre otros.

Un momento importante en el proceso de aprobación de las leyes es la inclusión en estas de una dimensión ambiental. Por ejemplo, la Ley de Minas (1994) introduce por vez primera el concepto de la evaluación del impacto ambiental como herramienta de la gestión ambiental. La Ley del Sistema Tributario (1994) incorpora un impuesto sobre el medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales, y la Ley de la Inversión Extranjera (1995) contiene todo un capítulo sobre el medio ambiente.

Todo este entramado legal se completa con una multitud de disposiciones y reglamentaciones de menor rango, así como por diversas normas técnicas.

La Ley 81 (Ley de Medio Ambiente) dedica un capítulo al tema de los recursos minerales, el cual consta de los cinco artículos siguientes:

Artículo 120. El aprovechamiento de los recursos minerales por cualquier persona natural o jurídica se regirá por las disposiciones siguientes:

- a) La actividad minera estará sujeta al proceso de evaluación de impacto ambiental, por lo que el concesionario solicitará la licencia ambiental para ejecutar la fase de investigación geológica y estará obligado a solicitar la licencia ambiental y a elaborar el estudio de impacto ambiental, cuando corresponda, en las fases de explotación y procesamiento.

TABLA 13.1

Impactos ambientales que generan las actividades mineras

Magnitud del impacto ambiental	A la atmósfera			Modificaciones fisiográficas						Impacto visual	Fauna	Flora	Viales	
	Gases	Polvo	Ruidos	Superficiales	Mar	Erosión	Sedimentación	Inundación	Inestabilidad					Suelo
Investigación geológica Infraestructura Operaciones mineras Área minera	Oficinas			⊖					⊖	⊖			⊖	
	Viales			⊖					⊖	⊖			⊖	
	Destape		X		X				⊖	X			X	
	Perforación		⊖	X	⊖		X			X			X	
	Voladura	⊖	X	X	⊖			X					X	
	Arranque y carga		X	X	⊖		X						X	
	Transporte		X	X										⊖
	Procesamiento	X	X	X			X						X	X
	Cantera				X			X			⊖	X	⊖	X
	Escombreras				X			X			⊖	⊖	⊖	X
	Coleras				X			X		⊖	X	X	X	⊖

b) La actividad minera deberá causar la menor alteración posible, directa o indirecta, al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las aguas terrestres y marítimas, la capa vegetal, la flora y la fauna silvestre, el paisaje, y al medio ambiente, en general.

Artículo 121. Corresponde al Ministerio de la Industria Básica reglamentar y controlar la actividad minera y lo relacionado con las áreas mineras reservadas, sin perjuicio de las competencias que la legislación le confiere a otros órganos y organismos estatales.

Artículo 122. Las personas naturales o jurídicas que desarrollan actividades de aprovechamiento de recursos minerales, estarán en la obligación de rehabilitar las áreas degradadas por su actividad, así como las áreas y ecosistemas vinculados a éstas que puedan resultar dañadas, de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Minas y en la presente Ley, o en su defecto, a realizar otras actividades destinadas a la protección del medio ambiente, en los términos y condiciones que establezcan el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, el Ministerio de la Agricultura y el Ministerio de la Industria Básica.

Artículo 123. Todas las personas naturales o jurídicas que ejecuten acciones relativas a las aguas minerales, se ajustarán a la capacidad del yacimiento, su poder de recuperación natural y el estado cualitativo de las aguas, según las evaluaciones y dictámenes emitidos por el Ministerio de la Industria Básica y oído el parecer del Ministerio de Salud Pública en lo que respecta a su estado epidemiológico, con el fin de asegurar su explotación racional y evitar su agotamiento o degradación.

Artículo 124. El Ministerio de la Industria Básica, en coordinación con otros órganos y organismos competentes, es el encargado del control y desarrollo de las acciones encaminadas a la gestión de las aguas y fangos minero-medicinales.

En correspondencia con lo normado en la Ley de Minas, la actividad minera consta de varias fases

o etapas, que son la investigación geológica, la explotación y el procesamiento. Estas se distinguen en función de la escala de los trabajos, y los tipos y la naturaleza de los depósitos que se investigan o explotan.

Como es obvio, los trabajos vinculados a la ejecución de la actividad minera, en cualquiera de sus etapas, conllevan la alteración del ambiente natural, al resultar imprescindible la construcción de caminos y accesos, el establecimiento de plataformas para las perforaciones, la instalación de equipos y medios requeridos para la explotación y el procesamiento de los recursos mineros. Por ello, en la Ley de Medio Ambiente aparece regulada esta actividad mediante el Artículo 120, que subraya la obligatoriedad de acometer el proceso de evaluación del impacto ambiental, procedimiento que tiene por objeto evitar o mitigar la generación de efectos ambientales indeseables, mediante la estimación previa de las modificaciones del ambiente que traerían consigo la actividad minera y, según proceda, la denegación de la licencia ambiental para realizarla o su concesión bajo determinadas condiciones o requerimientos. Esta evaluación también incluye una información detallada sobre el sistema de monitoreo y control con vistas a asegurar su cumplimiento y las medidas de mitigación que deben ser consideradas.

A la estimación previa de las modificaciones del ambiente como resultado de la actividad minera se le denomina *estudio del impacto ambiental*. Consiste en una descripción pormenorizada de las características del proyecto y de las actividades que se pretende efectuar (incluyendo su tecnología), y se presenta para su aprobación en el marco del proceso de evaluación del impacto ambiental. Debe proporcionar antecedentes fundados para la predicción, la identificación y la interpretación del impacto ambiental del proyecto, y describir las acciones que se ejecutarán para impedir o minimizar los efectos adversos, así como el programa de monitoreo que se adoptará.

El Artículo 121 ratifica que el Ministerio de la Industria Básica es el organismo de la administración central del Estado que tiene a su cargo la regulación y el control de la actividad minera, para lo cual dispone de un órgano específico: la Oficina Nacional de Recursos Minerales, encargado de los procesos de concesión minera y de su control.

La Ley de Medio Ambiente es explícita en lo relacionado con la rehabilitación de las áreas degradadas y los ecosistemas afectados por la actividad minera, cuyas acciones deben quedar incluidas en el proyecto de la etapa que le corresponda. En aquellos lugares en que no sea posible la rehabilitación, se realizarán otras actividades destinadas a la protección del medio ambiente.

Esta ley, además, regula de manera clara lo relativo a las aguas y los fangos mineromedicinales, estableciendo el vínculo imprescindible entre el organismo responsable de su control y regulación

(Ministerio de la Industria Básica), y el organismo que vela por la situación higiénica y epidemiológica en el país (Ministerio de Salud Pública).

Como se señaló, la Ley de Medio Ambiente es una ley marco para todas las actividades ambientales y el uso racional de los recursos naturales. Por ello, además de los aspectos específicos señalados para la actividad minera, tiene un conjunto de capítulos y artículos comunes a toda actividad o esfera económica o social.

Precisamente, al amparo de esta ley, y por su importancia específica, han sido promulgados otros cuerpos jurídicos, como son: el Decreto Ley 201 (del Sistema Nacional de Áreas Protegidas), el Decreto Ley 212 (Gestión de la Zona Costera), y la Ley 85 (Ley Forestal), los cuales establecen regulaciones específicas que deben ser atendidas por las personas naturales y jurídicas que realizan la actividad minera en el país.

Patrimonio geólogo-minero

Ing. Mabel Rodríguez Romero

El patrimonio geólogo-minero del país está integrado por las minas, las instalaciones mineras y los documentos de valor histórico relacionados, la información científico-técnica geológica y minera, las muestras de rocas, minerales y fósiles preservadas en los museos, los testigos de algunos pozos y cualquier otro tipo de bien que sea conveniente declararlo patrimonial. También se consideran parte de nuestro patrimonio los lugares naturales que representen momentos importantes de la evolución geológica de la Tierra, que hayan sido objeto de descubrimientos geológicos y mineros o que desempeñen un papel trascendental en la conservación de tradiciones. Entre estos se reconocen las localidades de importancia geológica y paleontológica, y sitios excepcionales para el estudio y la comprensión de la evolución de Cuba, del planeta y sus recursos minerales (Fig. 13.1).

Por su relevancia, algunas de las zonas mineras y localidades de importancia geólogo-paleontológica, están comprendidas dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en el que se agrupan ordenadamente ciertas porciones del país para la protección del medio ambiente, específicamente la

diversidad biológica y las bellezas escénicas más significativas, con vistas a asegurar la continuidad de los procesos evolutivos, incluyendo los sitios con importancia para la migración de las aves. El registro de algunas áreas de carácter local o nacional como monumentos patrimoniales ha permitido preservar algunos sitios históricos del legado geólogo-minero del país. Alrededor de estas minas surgieron pueblos que desarrollaron una cultura de minería, sincronizada con el silbato que llama a labor.

Dos zonas mineras de particular interés histórico y social para el patrimonio nacional, son las antiguas minas de cobre Matahambre, en Pinar del Río, y El Cobre, en Santiago de Cuba.

Mina Matahambre

La Mina Matahambre (Pinar del Río) llegó a ser la más profunda de América, también dotada con una planta de beneficio entre las más eficientes del mundo. Como depósito mineral fue descubierta en 1912 y se mantuvo en producción desde 1914 hasta 1997, cuando fue cerrada por no ser rentable su explotación, que en ese momento se ejecu-



Fig. 13.1: Abra del Ancón, lugar donde por vez primera aparecieron restos fósiles del Jurásico en Cuba. Forma parte del Parque Nacional Viñales, Patrimonio Cultural de la Humanidad.

taba a 1 503 m de profundidad. La extracción total de la mena de cobre en todo el período de actividad, se estima en 11,4 millones de toneladas, con una ley promedio de 4,2 % (de 1 % hasta 25 %), representando 470 400 toneladas de cobre. El mineral principal del yacimiento era la calcopirita (sulfuro de hierro y cobre). Constituida en mina-escuela, por ella pasaron generaciones de geólogos y de mineros cubanos. Al cerrarse en 1997 fue declarada Monumento Nacional.

Mina El Cobre

El yacimiento mineral de la Mina El Cobre (Santiago de Cuba) fue descubierto por el año 1530 y de inmediato comenzó a explotarse. Fue la primera mina de cobre de la América colonial. Su ex-

plotación se extendió de forma interrumpida por casi cinco siglos hasta el 2001, fecha en que definitivamente se cerró. Los trabajos de explotación se iniciaron acorde con los tiempos, sin previa exploración geológica y sin autorización de la corona de España.

La extracción se hizo de forma manual y selectiva, y se explotaban únicamente las menas ricas constituidas por calcopirita (sulfuro de cobre y hierro) con poca pirita (sulfuro de hierro) y cuarzo (óxido de silicio). A partir de 1830 la compañía inglesa *Consolidated Mines* llevó a cabo las primeras exploraciones geológicas sistemáticas y modernizó la explotación. Los períodos de mayor actividad minera fueron de 1830 a 1870, de 1902 a 1906, de 1911 a 1918, de 1939 a 1945 y con posterioridad al triunfo de la Revolución. La mineralización se ha

localizado a profundidades entre 200 y 500 m con ley (concentración) de Cu mayor de 0.7 %. Por debajo de este rango de profundidad los recursos no están delimitados. De la Mina El Cobre se ha extraído cerca de un millón de toneladas de mena, con ley de Cu entre 14 % y 18 % y más de dos millones de toneladas de mena, con ley de Cu algo mayor de 2 %. Aún quedan volúmenes importantes de recursos cuya explotación tendría que ser por minería subterránea con un alto costo de producción. La mina El Cobre se encuentra en proceso de ser recuperada para el patrimonio geólogo-minero del país y ser propuesta a la UNESCO para su inclusión como Patrimonio de la Humanidad (Fig. 13.2). Fue la

primera mina bajo tierra de América, la cual se mantuvo activa, con períodos de cierre temporales, durante 470 años. Está vinculada con una de las tradiciones religiosas más hermosas de Cuba: la aparición de la Virgen de la Caridad del Cobre, Patrona de Cuba, en la Bahía de Nipe, la cual fue acogida en sus predios desde 1916. La mina El Cobre cobijó a los esclavos cimarrones, evento que ha quedado inmortalizado en un monumento que señala la llamada Ruta del Esclavo en el Caribe. La mina El Cobre, el Santuario Nacional de la Virgen de la Caridad del Cobre, y el Monumento al Cimarrón, constituyen un complejo cultural y turístico de gran relevancia.



Fig. 13.2: Poblado y cantera de El Cobre, primera explotación minera de Cuba, icono de la minería cubana.

Geociencias de cara al futuro

Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent

La comunidad internacional de geocientíficos ha evaluado la necesidad de encausar a la geología y las ciencias afines como un conjunto de ciencias ambientales fundamentales, y recuperar la percepción popular de las Ciencias de la Tierra como una parte de las ciencias naturales, junto con la Astronomía, la Geografía, la Geofísica y la Biología.

Asimismo, se ha valorado la conveniencia de—sin que esto implique un alejamiento de la educación clásica de la geología como una ciencia de la naturaleza— introducir con mayor intensidad cursos de modernización. Para ello, se ha propuesto dividir las carreras universitarias de geociencias en los bloques siguientes:

- *Básico*: Ciencias Naturales y Exactas, Historia de la Geología y Minería.
- *Tecnologías auxiliares*: GIS, Sensores Remotos, Técnicas informáticas, Internet.
- *Especialidades*: Hidrogeología, Ingeniería Geológica, Yacimientos minerales petróleo y gas, Geología Ambiental, Sismología, Riesgos Geológicos, Medicina Geológica, entre otras.

De este modo, surgiría un profesional preparado para encarar los desafíos del futuro. Se ha considerado necesario continuar las investigaciones básicas de creación de conocimientos e impulsar las investigaciones geoambientales. Hoy día, muchos servicios geológicos elaboran mapas de riesgos, tanto a escala de país, como regionales, en los cuales se muestran las zonas de amenazas de derrumbes, deslizamientos, flujos acuosos de alta velocidad, inundaciones, transformaciones costeras, terremotos, tsunamis, actividad volcánica, contaminación, aprovisionamiento de agua, entre otras de gran impacto social. Del mismo modo, se hace énfasis en la búsqueda de nuevas materias primas y en el desarrollo de tecnologías extractivas más amigables hacia el ambiente. Una atención especial se presta al desarrollo de iniciativas de educación geoambiental, como parte de los programas de mitigación de riesgos naturales. Esto significa un reenfoque del servicio geológico de los países en vías de desarrollo, donde las geociencias ocupen un lugar cada vez más destacado, a fin de potenciar las Ciencias de la Tierra en función de la Sociedad. Por ello, la Asamblea General de las

Naciones Unidas ha declarado, por aclamación, el año 2008 como “Año Internacional de las Ciencias de la Tierra al Servicio de la Sociedad”, como parte del trienio 2007-2009, dedicado a desplegar una variedad de iniciativas relacionadas a este programa. Esta pequeña obra es una de las contribuciones de los científicos cubanos a este trienio (Fig. 14.1).



Fig. 14.1 Logotipo de la Comisión cubana del “Año Internacional de las Naciones Unidas del Planeta Tierra”, bajo el lema: “Ciencias de la Tierra al Servicio de la Sociedad”.

A tono con estos conceptos, se reproduce a continuación la *Declaración de los Derechos de la Tierra*, elaborada por la Conferencia Internacional celebrada en Digne, Francia, y aprobada el 13 de junio de 1991. Esta mantiene hoy su validez y reza así:

- Así como la vida humana se reconoce como única, ha llegado el tiempo de reconocer la singularidad de la Tierra.
- La Madre Tierra nos sustenta. Nosotros estamos cada uno y todos ligados a ella. Ella es el vínculo entre nosotros.
- La Tierra tiene 4 600 millones de años y es la cuna, el sitio de renovación y de metamorfosis de la vida. Su larga evolución, su lento ascenso a la madurez, ha conformado el ambiente natural en el cual vivimos.
- Nuestra historia y la historia de la Tierra están estrechamente relacionadas. Sus orígenes

son nuestros orígenes, su historia es nuestra historia y su futuro será nuestro futuro.

- El aspecto de la Tierra, su peculiar naturaleza, es nuestro ambiente. Este ambiente es diferente, no solo de aquel del pasado, sino también del futuro. Nosotros no somos sino los compañeros de la Tierra sin una causa final, nosotros somos pasajeros.
- Justo así como un viejo árbol conserva todos los registros de su crecimiento y su vida, la Tierra retiene memorias de su pasado... Un registro inscrito, tanto en sus profundidades, como en la superficie, en las rocas y en los paisajes, un registro que puede ser leído y traducido.
- Nosotros siempre hemos comprendido la necesidad de preservar nuestras memorias, es decir, nuestra herencia cultural. Ahora ha llegado el tiempo de proteger nuestra herencia natural, el ambiente. El pasado de la Tierra no es menos importante que aquel de la humanidad. Ya es tiempo de que aprendamos a cuidarlo, y al hacerlo, que conozcamos el pasado de la Tierra, que sepamos leer este libro que es nuestra herencia geológica, escrito antes del surgimiento del hombre.
- Los hombres y la Tierra compartimos una herencia común. Nosotros y nuestros gobernantes somos los custodios de esta herencia. Cada uno y toda la humanidad debería comprender que la más mínima depredación mutila, destruye y conduce a pérdidas irreversibles. Cada forma de desarrollo debe respetar la singularidad de esta herencia.

Bibliografía y lecturas recomendadas

- ÁLVAREZ CONDE, J.: *Historia de la geología, mineralogía y paleontología en Cuba*, La Habana, 1957.
Anales de la Academia de Ciencias de La Habana.
Boletín de Minas, Secretaría de Agricultura, Dirección de Montes, Minas y Aguas. La Habana.
- Boletín de la Sociedad Cubana de Geología*, La Habana.
- CALVACHE DORADO, A.: "Historia y desarrollo de la minería en Cuba", *Boletín de Minas*, Editorial Neptuno, La Habana, 1944.
- _____: *Bosquejo Histórico del Conocimiento de la Geología en Cuba*, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 1965.
- DONOVAN S.K., T.A. JACKSON, eds.: *Caribbean Geology, an Introduction*, University of West Indians Publishers Association, Jamaica, 1994.
- FERNÁNDEZ DE CASTRO, M.: "Prueba paleontológica de que la isla de Cuba ha estado unida al continente americano y breve idea de su constitución geológica", *Anales de la Academia de Ciencias de La Habana*, 21, La Habana, 1884.
- FERNÁNDEZ DE CASTRO, M. Y PEDRO SALTARAÍN Y LEGARRA: "Croquis Geológico de la Isla de Cuba" (Escala 1:2 000 000), 1869. En: *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, Volumen 8, Carta G, 1881.
- FURRAZOLA-BERMÚDEZ et al.: *Geología de Cuba*, Editorial Universitaria, La Habana, 1964.
- FURRAZOLA BERMÚDEZ, G. Y K. NÚÑEZ CAMBRA, eds.: *Estudios sobre geología de Cuba*, Instituto de Geología y Paleontología, La Habana, 1998.
- GASPARINI, Z., ITURRALDE-VINENT, M.: Cuban Jurassic Oxfordian Herpetofauna, *N. Jb. Geol. Paläont.*, Abhandlungen, vol. 240 (3):343-371, 2006.
- GONZÁLEZ FERRER, S.: *Corales Pétreos. Jardines Sumergidos de Cuba*, Editorial Academia, La Habana, 2004.
- HAMBLIN, W.K. Y E.-H. CHRISTIANSEN: *Earth Dynamic Systems* (CD-ROM), Prentice Hall, 2001.
- HARRINGTON, M.R.: Cuba before Columbus, Indian Notes and Monographs, 2 vol., Museum of the American Indian/Heye Foundation, New York, 1921.
- HAYES, C.W., T. W. VAUGHAN, A. C. SPENCER: *Report on a Geological Reconnaissance of Cuba*, 1901.
- ISSAC DEL CORRAL, J.: *Derecho minero cubano*, La Habana, 1920.
- _____: "La geología como ciencia fundamental de la agricultura y la minería", *Boletín de Minas*, no. 18, La Habana, 1939.
- _____: *El geosinclinal cubano*, Ediciones del III Congreso Nacional de Ingeniería, La Habana, 1940.
- ITURRALDE-VINENT, M., ed.: *Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana*, ACC, Instituto de Geología y Paleontología, Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1985.

- ITURRALDE-VINENT, M.: *Naturaleza geológica de Cuba*, Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1988.
- ITURRALDE-VINENT, M., ed.: *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, IGCP Project 364, Special Contribution, Florida, 1996.
- _____: *Origen y evolución del Caribe y sus biotas marinas y terrestres* (CD-ROM), Centro de Información Geológica, ISBN 959-7117-14-2, La Habana, 2004.
- _____: "La paleogeografía del Caribe y sus implicaciones para la biogeografía histórica", *Revista del Jardín Botánico Nacional*, XXV-XXVI, La Habana, 2006.
- ITURRALDE-VINENT, M.A. AND E.G. LIDIAK, eds.: Caribbean Plate Tectonics. Stratigraphy, Magmatic, Metamorphic and Tectonic Events, UNESCO/IUGS IGCP Project 433, *Geologica Acta* 4(1-2):341 pp., 2006.
- ITURRALDE-VINENT, M. AND R. D. E. MACPHEE: Paleogeography of the Caribbean region: Implications for Cenozoic biogeography, *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 238, New York, 1999.
- LABORATORY MANUAL IN PHYSICAL GEOLOGY: Computer Based Labs. (CD-ROM), Prentice Hall, 2000.
- LUTGENS, F.K. Y E.J. TARBUCK: *Essentials of Geology* (CD-ROM), 2000.
- NAGY, E., ed.: *Contribución a la geología de Cuba oriental*, ACC, Instituto de Geología y Paleontología, Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1983.
- Nuevo atlas nacional de Cuba*, Instituto de Geografía, La Habana, 1988.
- PRESS, F. Y R. SIEVER: *Understanding Earth* (CD-ROM), W. H. Freeman and Company, 2001.
- PRUNA GOODGALL, P. M.: *Ciencia y científicos en Cuba colonial*, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 2001.
- PSZCZOLKOWSKI, A., ed.: *Contribución a la geología de la provincia de Pinar del Río*, ACC, Instituto de Geología y Paleontología, Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1987.
- PUSHCHAROVSKY, YU, ed.: *Mapa geológico de la República de Cuba*, escala 1:250 000 (40 hojas), Academias de Ciencias de Cuba y de la USSR, 1988.
- Revista La Minería en Cuba*, La Habana.
- Revista Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural "Felipe Poey"*, La Habana
- Revista de la Sociedad Cubana de Ingenieros*, La Habana.
- Revista Tecnológica*, Ministerio de Industrias, La Habana.
- Revista Voluntad hidráulica*, del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- Serie espeleológica y carsológica*, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana.
- Serie geológica*, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana.
- SOTO GONZÁLEZ, LUIS: *Apuntes sobre la historia de la minería en Cuba*, Editorial Oriente, Santiago de Cuba, 1981.
- TASA, H., E.J. TARBUCK, F.K. LUTGENS: *Geode* (CD-ROM), Prentice Hall, 1999.
- TADA, R. *et al.*: "K/T Boundary deposits in the Paleo-western Caribbean basin", *American Association of Petroleum Geologists*, Mem. 79 (CD-ROM and book), chapter 26, pp. 582-604, 2004.

Sitios de internet

Origen y evolución del Caribe, y sus biotas marinas y terrestres:

<http://www.redciencia.cu/cdorigen/arca/index.htm>

Curso Naturaleza geológica de Cuba:

<http://www.medioambiente.cu/uptnatgeo/index1.htm>

Sociedad Cubana de Geología:

<http://www.scg.cu>

Portal del Medio Ambiente Cubano:

<http://www.medioambiente.cu>

Portal de la ciencia cubana:

<http://www.redciencia.cu>

Portal del Servicio Geológico:

<http://www.onrm.minbas.cu>

