

LA GEOMORFOLOGÍA MODERNA Y SU IMPORTANCIA EN LOS ESTUDIOS DEL RELIEVE MEXICANO

Por José Hugo Hubp*

RESUMEN

Se consideran algunos antecedentes históricos de la geomorfología, su fundación a fines del siglo pasado, y su evolución en el actual. Y a partir de un breve análisis, en el plano regional, sobre el relieve de la República Mexicana, se concluye cuales son los problemas geomorfológicos primordiales de interés económico, así como la inaplicabilidad de la teoría del *ciclo geográfico* de Davis, en el territorio mexicano.

SUMMARY

We contemplate some historic antecedents of the geomorphology, it's foundation to the end of the past era, and it's actual evolution. From the short analysis in the regional plan, about Mexican Republic topography, we conduce wich are the fundamentals geomorphology problems of economic interests, and way the remising of the *geographical cycle* theory of Davis in the Mexican territory.

1. ANTECEDENTES

La geomorfología —ciencia del relieve de la Tierra— queda comprendida dentro del grupo de las ciencias naturales, y éstas consideran su objeto de estudio esencialmente en función de su origen. Así, por ejemplo, para la geología ha sido un problema fundamental el origen de la corteza terrestre; para la biología fue una gran dificultad resolver la cuestión sobre el origen de la vida; y la geomorfología, en concreto, estudia el proceso de desarrollo de

las formas del relieve terrestre. Todo esto tiene una base científica, un método general, y se apoya en la concepción del universo como un todo definido por tres elementos: materia, tiempo y espacio, siendo estos dos últimos una expresión del primero: el tiempo es la medida de los cambios de la materia; el espacio, la extensión de todas sus formas. La propiedad fundamental de la materia es su movimiento. Es en estos principios elementales en los que radican las bases para la comprensión de las ciencias naturales.

Pero todos estos conceptos que hoy nos parecen perfectamente lógicos, fundamento del pensamiento científico, pertenecen a la historia

* Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

moderna, solamente del siglo xix. Naturalmente, no surgen en el siglo pasado, sino en la Grecia antigua, con Tales de Mileto, Anaxímenes y Anaximandro, y muchos otros filósofos más. Así, el pensamiento científico apareció —de acuerdo con la historia en el siglo vi a.C., y esto significa que el hombre trató de comprender la naturaleza por la materia y su movimiento, desechando la influencia de la divinidad.

Pero lo divino, lo mágico ha estado siempre presente en la vida del hombre. Y la concepción dominante sobre el mundo en que vivimos ha sido, en la mayor parte de la historia, la de un mundo mágico donde la Tierra surge repentinamente en el centro del universo; la vida vegetal y animal, y el hombre en un apartado, aparecen también en forma súbita, tal y como son actualmente, todo debido a la voluntad —o capricho— de la divinidad.

Estos conceptos fantásticos sobre la naturaleza serían duramente impugnados ante notables descubrimientos: de Copérnico en el siglo xvi, posteriormente reafirmados por Galileo, a principios del xvii, sobre que la Tierra no es un cuerpo fijo, centro del universo, sino, por el contrario, es móvil y junto con otros semejantes gira alrededor del Sol. El otro gran descubrimiento correspondió a Darwin, quien después de infinidad de observaciones pudo presentar pruebas irrefutables en apoyo a la teoría de la evolución de la vida sobre la Tierra. A estas dos notables concepciones debe mucho la ciencia moderna, ya que permitieron un avance gigantesco en su desarrollo.

Si el método científico que surgió en la antigua Grecia fue reemplazado en la era cristiana por el dogma, fueron conservadas, sin embargo, las ciencias aristotélicas, que incluyen elementos de biología y geología, y que junto con la teoría geocéntrica de Tolomeo fueron la base de las ciencias por más de mil años.

La concepción materialista del mundo vuelve a surgir en la época del Renacimiento, en los siglos xv-xvii. Esto tiene una explicación lógica: el hombre abandona el feudalismo y gradualmente va adoptando el método capitalista de producción, lo que significa, entre otras cosas, mayor extracción de minerales, así como la construcción de canales, caminos y otras obras de ingeniería; es también una época de grandes descubrimientos geográficos. Con todo esto se

transforma la cartografía y se conoce cada vez más de rocas y estructuras geológicas. Mucho deben las ciencias de la Tierra a Leonardo de Vinci (s. xvi), quien no sólo desenterró la ciencia griega, sino que hizo enormes contribuciones en lo que fue el nacimiento incipiente de la geología.

Ante las evidencias de la naturaleza, el hombre tiene, por otro lado, los mitos milenarios; la Creación, el diluvio, la bondad, la ira o el capricho de los dioses. Las soluciones son, entonces, el rechazo del pensamiento mágico o la conciliación forzada.

La historia de la geología es la de una lucha constante entre los pensamientos mágico y científico. Encontramos en la edad media, y antes, el concepto del "diluvianismo", mismo que explica la presencia de fósiles en la tierra firme. Estas ideas evolucionaron gradualmente, y hacia principios del siglo xix, ya con fundamentos geológicos, los estudiosos de la naturaleza se dividieron agrupados en dos escuelas antagónicas: los neptunistas, encabezados por Werner, sostenían que el relieve, en su estructura, es esencialmente de origen sedimentario marino; los plutonistas, Hutton, Humboldt y otros, daban una importancia primordial al fuego interno de la Tierra; proceso fundamental formador de las rocas y las estructuras geológicas. Ambas corrientes son serias, propias de su época, reflejo de una sociedad cambiante. Pero las dos exageran sobre la influencia de uno y otro elemento, el agua o el fuego. Gradualmente se van corrigiendo algunos errores, con el avance de los plutonistas inicialmente en desventaja.

Hacia la mitad del siglo pasado la evolución de los conceptos geológicos conduce a la formación de otras dos escuelas antagónicas: el catastrofismo y el evolucionismo. Cuvier, representante de la primera, trató de conciliar la geología y el dogma: la Tierra es joven, de unos cuatro mil años (de acuerdo con la Biblia), y las grandes estructuras del relieve se han formado como consecuencia de movimientos catastróficos de breve duración. Los evolucionistas sostenían cambios lentos y graduales, no sólo del relieve, sino de los organismos. Se impusieron temporalmente los conceptos catastrofistas, mezcla de ciencia y religión. Cuvier fue un eminente paleontólogo y sus contribuciones a la geología son de gran importancia.

Tal vez por esto fue tan popular su teoría, pero sólo hasta la aparición de la obra monumental de Darwin "El origen de las especies". No es que fuera del todo original la teoría de la evolución, era casi tan antigua —aunque muy simple— como el concepto de que la Tierra gira alrededor del Sol (de Aristarco, en el s. III a.C.). Pero fue Darwin, como en su época Galileo, quien proporcionó las evidencias, fruto de infinidad de observaciones hechas en distintas partes del Globo, como también de la consulta de trabajos publicados entonces sobre el tema.

La teoría de la evolución, de Darwin, fue de extraordinaria importancia, no sólo porque definió un método común para las ciencias naturales, sino porque también rompe con los mitos que tanto daño han causado al desarrollo de la ciencia.

Son varios los autores que comparan en importancia los postulados de Galileo y Darwin: dos hombres, dos teorías que revolucionaron la ciencia. Y, naturalmente, no son ajenas a las condiciones socioeconómicas imperantes en su época. No es difícil entender por qué fueron condenados por el poder religioso: ambos destruyeron dos mundos mágicos sostenidos por siglos: el de la Tierra y el de la vida.

Para mediados del siglo pasado la geología ya estaba definida como ciencia independiente —casi cumplía un siglo. Y en su formación fueron fundamentales las obras de Lomonosov, Buffon, Hutton y Lyell, entre los principales.

El desarrollo económico de la sociedad fue especialmente importante en Europa y Norteamérica, en la segunda mitad del siglo XIX. En esto desempeñó un papel fundamental la geología, en la búsqueda de los recursos naturales, que incluyó, ya, el petróleo. Y al mismo tiempo que se aplican los conocimientos geológicos en las exploraciones, esta ciencia se enriquece al acumular cada vez más información que permite precisar la relación que guardan los yacimientos con el tipo de rocas y su estructura geológica.

El umbral de los siglos XIX y XX es también una nueva etapa para la ciencia: los descubrimientos en la física y la química, entre otras disciplinas, enriquecen a la geología que adopta métodos cuantitativos. Nacen la geoquímica y

la sismología. Pero en esta época también nace en Norteamérica la geomorfología.

2. LAS PRIMERAS TEORÍAS GEOMORFOLÓGICAS

Si el objeto de estudio de la geomorfología es el relieve, esta disciplina podía surgir solamente cuando se expusiera una teoría que explicara el relieve terrestre en función de su origen y desarrollo. Esto es, a partir del método evolucionista. Y correspondió a Davis formular la primera teoría de este tipo en su trabajo clásico "El ciclo geográfico" (*The Geographical Cycle*) (1899), mismo que considera el relieve en constante transformación, pasando por tres etapas; juventud, madurez y senectud; de las altas montañas a una casi planicie conocida como peniplano. Para Davis el ciclo es continuo: el peniplano es reactivado tectónicamente y el ciclo vuelve al punto de partida, para repetirse. En esta evolución hay una trilogía de elementos fundamentales: estructura, proceso y etapa. El primero se refiere al tipo de roca y estructura geológica; es el factor espacial, estático, que se ve afectado por el segundo elemento: la erosión (fluvial, glaciár, marina, eólica), proceso nivelador; y por último, el tercer elemento, el factor tiempo o etapa de desarrollo del relieve, que para Davis puede ser cualquiera de las antes mencionadas.

Esta teoría es de gran importancia por cuanto es el primer intento por explicar el relieve con un criterio evolucionista, precisamente el punto de partida del desarrollo de la geomorfología como ciencia independiente. Pero hay que considerar que Davis publicó "El ciclo geográfico" en 1899, y es, entonces, una teoría de un época, y aceptarla como tal en nuestros días es reconocerla como una verdad absoluta, sin considerar los avances de la geomorfología y la tectónica en ocho decenios posteriores.

Hay que hacer notar que a fines del siglo pasado era todavía popular la teoría de la contracción de la Tierra, en la que se basaron muchos geólogos para explicar la formación de los grandes sistemas montañosos. Por esta razón la geomorfología estuvo desligada de la tectónica: Davis nos explica solamente el pro-

ceso de la destrucción de las montañas, pero está ausente en su concepción la formación de las mismas, como también lo está la relación entre formación de montañas y erosión.

Una de las principales críticas que recibió la teoría de Davis se apoyó en la consideración de éste sobre la secuencia irreversible del ciclo, en el que el relieve, por la acción de la erosión pasa de una etapa a otra hasta llegar al peniplano, para, después, por un levantamiento, volver al estado de juventud, en el que el ciclo se inicia otra vez. Esta imagen da una importancia extrema al proceso de erosión, menospreciando la actividad tectónica en general. Por otro lado, como han reiterado numerosos especialistas, en la naturaleza no existen ciclos de desarrollo en sentido circular, como supuso Davis, sino que son en espiral. Hay que aclarar que, aun cuando Davis exageró el ciclo de erosión, él mismo considera que no se presenta como único y universal, por lo que le llama "El ciclo ideal", y señala que puede tener interrupciones: en la etapa de madurez el relieve puede sufrir un levantamiento o rejuvenecimiento; puede alterarse por la actividad volcánica u otros fenómenos. Parece que, como todas las teorías novedosas que revolucionaron el pensamiento científico—neptunismo, plutonismo, catastrofismo—cayó en extremos, lo que se explica si apreciamos cual era entonces el nivel de desarrollo de las ciencias de la Tierra y otras en las que se apoyaba, tales como la física, la química y la biología.

Resulta, así, que la teoría de Davis es de gran importancia por ser el primer intento de explicar el relieve a partir de una secuencia evolutiva que iba mucho más lejos de aquellas que atribuyeron el relieve al agua o al fuego; o del catastrofismo, recientemente olvidado cuando nació la geomorfología. Pero, sin negar su gran significado en los umbrales de los siglos XIX y XX, hay que insistir en su inaplicabilidad en nuestros días. Es muy común encontrar en la literatura geológica mexicana definiciones del relieve apoyadas exclusivamente en Davis. Sobre esto haremos algunos comentarios más adelante.

Un dato curioso, necesario de ser señalado, es que no fue Davis quien propuso el término *geomorfología*, sino un colega suyo: J. W. McGee, en 1893 (Timofeyev, 1975). Sin em-

bargo, tiene un antecedente importante: en 1852 Naumann propuso el término de *morfológia de la superficie terrestre* para definir a la ciencia encargada del estudio del relieve (*op. cit.*).

De principios del siglo XX es la teoría de Penck sobre el relieve terrestre. Sin embargo, su trabajo fundamental "Análisis morfológico" (*Die morphologische Analyse*) fue publicado en 1924, *post mortem*. A diferencia de Davis, cuya teoría es predominantemente geográfica, Penck busca la relación de las formas del relieve con la actividad tectónica creadora; así, por ejemplo, relaciona el perfil de las laderas (recto, cóncavo, convexo) con la intensidad del levantamiento tectónico. Asimismo, el proceso contrario de la erosión es simultáneo a la formación de montañas. En esto difiere sustancialmente de Davis, para quien las montañas se nivelan por un descenso gradual de sus divisorias (parteaguas), a causa de las capturas; para Penck es en sentido horizontal: los materiales removidos en las laderas de las montañas se depositan al pie de las mismas formando un manto acumulativo o pedimento, mismos que finalmente se unen—dos o más—dando origen a un pediplano: también una casi planicie.

Posteriormente quedaría claro que los dos procesos de nivelación se reconocen en las zonas montañosas, y la presencia dominante de uno u otro depende de las condiciones climáticas.

Se considera, así, que la geomorfología tiene dos padres: Davis y Penck. En el primero dominan los métodos geográficos, en el segundo los geológicos, y solamente con ambos sería posible el desarrollo posterior de la geomorfología, ya que al estudiar el relieve en función del tiempo y del espacio, forzosamente se necesita de la geografía y de la geología.

También la teoría de Penck tenía excesos: dio demasiada importancia a algunos procesos y subestimó otros. Pero en el transcurso de la primera mitad del siglo, las investigaciones de numerosos geólogos y geógrafos irían enriqueciendo la teoría geomorfológica. En esto jugaron un papel muy importante especialistas franceses y soviéticos.

3. LA GEOMORFOLOGÍA MODERNA

Entre el decenio de los 30 y la mitad del siglo, las publicaciones sobre la materia se con-

centran en los principios teóricos sobre el origen y evolución del relieve. Algunos textos que tuvieron amplia difusión y fueron básicos para el estudio de la geomorfología son los de Lobeck (1939), Engeln (1942), Hinds (1953), Cotton (1948), Markov (1948).

En la segunda mitad de nuestro siglo la geomorfología, al igual que todas las ciencias de la Tierra, entró en una nueva etapa de desarrollo. Evidentemente tuvo gran influencia en el progreso de la ciencia la Segunda Guerra Mundial, durante la cual los países en conflicto se vieron en la necesidad de incrementar al máximo las investigaciones en las áreas de la física, la química y la geología, entre otras, por la necesidad de producir nuevas armas y de acelerar la extracción de minerales, incluso el petróleo. Este umbral de la historia provocó cambios radicales de los sistemas político-económicos de los estados: algunos se transformaron y otros se reafirmaron, pero en una etapa de crecimiento económico acelerado.

La geomorfología evoluciona, hacia el decenio de los 60, como una disciplina de gran aplicación. Asimismo, surgen trabajos importantes que definen orientaciones novedosas: geomorfología climática y estructural que encontramos en Birot (1949), Cholley (1950), Tricart (1952), Tricart y Cailleux (1956). Estos autores desarrollan los principios para explicar el origen y evolución de las formas del relieve a partir de las condiciones climáticas actuales y antiguas, así como la influencia de la vegetación y los organismos, y, en otro caso, aportan mucho más elementos en lo que se refiere a la relación de las formas del relieve con la estructura geológica y la tectónica en general. También en Matchatzchek (1955) y King (1962) encontramos trabajos sobre descripciones y análisis geomorfológicos regionales.

Hay que recordar algunos hechos científicos de la posguerra que ejercerían una influencia enorme sobre la evolución de las ciencias de la Tierra. En 1946 el barco "Atlantis" inicia la exploración de los fondos oceánicos con instrumentos que permiten determinar grandes profundidades. Años más tarde este tipo de investigaciones se llevan a cabo en forma "masiva", y se dispone, entonces, de una información batimétrica novedosa. En 1957 es puesto en órbita el primer satélite artificial, y en 1961, por primera vez, sale el hombre al

espacio exterior; ocho años más tarde llegaría a la Luna. Los resultados preliminares de estas investigaciones incidieron no solamente sobre la geomorfología, sino sobre la geología en general, transformándose sustancialmente sus conceptos. En cuanto a la ciencia del relieve, se enriqueció ésta, primero, porque las cartas batimétricas del fondo oceánico permitieron conocer éste en sus partes más profundas y correlacionarlo con el de la tierra firme. En segundo lugar, los satélites artificiales proporcionan fotografías de la superficie terrestre que permiten reconocer estructuras —y precisar los límites de otras ya conocidas— difíciles de apreciar por los métodos tradicionales.

Resulta, así, que para fines de los 60 la geomorfología ha ido mucho más lejos de su subdivisión en estructural y climática. Numerosos trabajos que tratan con profundidad un problema determinado, nuevos métodos cartográficos y de fotointerpretación en escalas pequeñas y grandes, así como una creciente aplicación económica, definen ya nuevas subdivisiones. Svarichevskaya (1973, 1978) reconoce cuatro subdivisiones principales: general, regional, aplicada y planetaria.

La geomorfología general estudia las formas del relieve, su edad y los procesos exógenos y endógenos que las originan, los métodos de investigación y cartografía geomorfológica, la secuencia evolutiva del relieve. Comprende también los fundamentos teóricos de la geomorfología, la morfografía y morfometría. Sobre esta última hay que decir que en los últimos 20 años ha tenido un gran desarrollo como apoyo a la geomorfología estructural. Se refieren estos métodos, en concreto, a la determinación de parámetros del relieve tales como profundidades de erosión, densidad de drenaje, órdenes de corrientes, dimensiones de formas, etc., valores que se procesan en distintas formas. Esto ha encontrado aplicación para localizar estructuras geológicas positivas ocultas, relacionadas con yacimientos petrolíferos; también se han utilizado en la búsqueda de yacimientos minerales (principalmente hidrotermales) y en la construcción de grandes obras de ingeniería. Esta orientación novedosa, también en muchos casos apoyo en los estudios sobre neotectónica, es parte de la geomorfología soviética moderna.

En los Estados Unidos la morfometría es

un método propio de la geomorfología actual, con gran aplicación en problemas relacionados con la geotecnia, hidrología y geohidrología, y se caracteriza, en general, por una amplia utilización de las matemáticas en la cuantificación de varios tipos de procesos exógenos. Un trabajo clásico es el de Leopold *et al* (1964).

La geomorfología general, como se ha mencionado ya, ha sido subdividida en climática y estructural, lo que consideramos sigue siendo válido. Algunos autores (Svarichevskaya, 1978; Nikolayev, 1976) rechazan esta clasificación, partiendo de la consideración de que el relieve es el resultado de la interacción de procesos endógenos (que definen la estructura) y exógenos (controlados por el clima). Si bien esta aseveración es correcta, también hay que mencionar que la escala de trabajo cartográfico define el método —o métodos— de estudio, y la utilización de ambos —climático y estructural—, por citar un caso, no será forzosamente en la misma proporción. Resulta también que algunos son tan específicos que prácticamente llegan a excluir al segundo. Esto es común cuando se aplican los métodos estructurales, por lo que Nikolayev (*op. cit.*) considera una subdivisión aparte que denomina *morfología estructural*.

Independientemente de la posición que ocupa la geomorfología estructural, es innegable el gran desarrollo y aplicación que tiene en la actualidad. A los métodos modernos anteceden los trabajos de Mescheriakov (1965) y Gerasimov (1967). Los posteriores son muy numerosos.

La geomorfología climática nació y alcanzó altos niveles en Francia, con los trabajos de Birot (1949), Cholley (1950), y los posteriores de Tricart. Esta disciplina es naturalmente importante y su aplicación es preferible en las escalas grandes: 1: 5000 a 1: 25 000. Estas, para los métodos geomorfológico-estructurales resultan de poca utilidad. Por esto consideramos incorrecto el supuesto de que la geomorfología estructural sustituye actualmente a la climática. Simplemente, la utilidad de una u otra disciplina depende del problema que se vaya a resolver, de la escala de trabajo y de otros factores geológicos y geográficos.

La geomorfología regional tiene como objetivo principal la descripción sistemática de las formas del relieve comprendidas en territorios

determinados (Nikolayev, 1976). Ya que se trata precisamente de estudios regionales, la escala cartográfica que se utiliza es la correspondiente entre 1: 250 000 y 1: 1 000 000, o más pequeña. En este caso, las formas del relieve estudiadas son de órdenes mayores: cadenas montañosas, cuencas intermontanas y de piedemonte, etc. Aquí, el método de estudio, al igual que en la geomorfología general, vuelve a incluir la morfología, la génesis y la edad del relieve, y muy en especial la historia de su desarrollo, lo que incluye las etapas del mismo (Svarichevskaya, 1978). Inseparable de la geomorfología regional es la paleogeomorfología, misma que estudia el relieve antiguo con apoyo en los rasgos de la superficie, en los sedimentos cuaternarios y, en algunos, a partir de la geología del subsuelo. Esta disciplina ha tenido gran crecimiento en los últimos años, por lo que varios autores, entre otros Nikolayev (1976), consideran a la paleogeomorfología como una de las subdivisiones de la geomorfología. Su evolución tiene mucho que ver con la aplicación que ha tenido en la geología del petróleo y en las exploraciones en la búsqueda de yacimientos minerales y de placer.

La geomorfología aplicada se refiere, en concreto, a la aplicación de cualquiera de los métodos para el estudio del relieve, con un objetivo práctico inmediato. Con mucha frecuencia está en estrecha relación con la ingeniería civil, los yacimientos petrolíferos, minerales y placeres, con la hidrología, los asentamientos humanos y la agricultura. Resulta, así, que esta disciplina utiliza algunos de los numerosos métodos geomorfológicos para resolver un problema dado. Indudablemente, donde encuentra aplicación mayor es en la ingeniería civil, sobre todo en lo que se refiere a las grandes obras tales como presas, carreteras, puentes, etc. Difícilmente podemos señalar un proceso endógeno o exógeno que sea ajeno a la geotecnia, lo que no sucede precisamente con las otras aplicaciones económicas. Algunos autores, como Simonov y Spiridionov (1979) definen una nueva disciplina que es la ingeniería geomorfológica. También hacen mención a la tendencia actual de la geomorfología aplicada a subdividirse en dos ramas: ingeniería geomorfológica y geomorfología de exploración. Esta última se apoya en los métodos

recientes (1973) auxiliares en la búsqueda de yacimientos minerales, de placer y petrolíferos, expuestos por varios especialistas.

Una de las subdivisiones actuales más importantes es la geomorfología planetaria, término utilizado por Markov en 1948. Sin embargo, el surgimiento real de esta disciplina es mucho más reciente. Resulta que sólo en los dos últimos decenios tenemos información sobre el relieve de los fondos oceánicos —el 70% de la superficie terrestre—. Hacia la mitad del siglo su conocimiento se limitaba a la plataforma y el talud continentales, pero las investigaciones de la posguerra proporcionaron resultados de extraordinaria importancia que no sólo complementan el mapa geomorfológico del Globo, sino que son la base de nuevas teorías geológicas —tectónica de placas— que revolucionan a las ciencias de la Tierra en general. Fueron fundamentales los trabajos de Heezen, Tharp, Ewing (1959) y de Menard (1964) sobre la geomorfología del fondo oceánico. Esto se complementa con innumerables publicaciones que hasta la fecha siguen tratando este problema como uno de los principales. En la geomorfología cambió bruscamente el concepto del relieve submarino constituido por una plataforma y un talud continentales, y las planicies abisales. Hoy día tenemos un cuadro mucho más complejo: tres zonas definidas por el tipo de corteza (continental submarina, transicional y del lecho oceánico) y en cada zona tres grandes estructuras: plataforma continental, talud continental y pie del continente (*continental rise*), para la primera zona; cuenca del mar marginal, arco insular y trinchera, para la segunda, y planicies abisales, montañas submarinas y dorsales para la última. La geomorfología, al estudiar también el relieve de las grandes estructuras de la corteza terrestre: las cuencas de los océanos y los continentes (sistemas montañosos, cratones y ejes rift) estrecha aún más su relación con otras disciplinas como la geodinámica, la geotectónica, la tectonofísica, etc.

Resulta, así, que la geomorfología evoluciona, hacia la mitad del siglo actual, diferenciada, entonces, en climática y estructural, regional (y paleogeomorfológica), aplicada (ingeniería geomorfológica y de exploración) y planetaria. Esta cuestión sobre las subdivisiones de la geomorfología, sus definiciones y objetivos ha

sido tema de discusión, por parte de varios autores, en la revista *Geomorfología* de la Academia de Ciencias de la URSS, entre 1976 y 1981. La razón de esto consiste en que la orientación de una investigación, o la elaboración de un programa, depende mucho de la concepción de la ciencia de que se trate. En este punto nos apoyamos para hacer algunas consideraciones sobre el relieve de la República Mexicana y la importancia de los estudios geomorfológicos.

4. LA IMPORTANCIA DE LA GEOMORFOLOGÍA PARA EL TERRITORIO MEXICANO

El relieve de México, así como su estructura geológica difieren considerablemente de los que encontramos en Estados Unidos o Centroamérica, y se caracteriza por: 1) Presencia mayoritaria de estructuras geológicas jóvenes del terciario y cuaternario; 2) Predominio territorial de los sistemas montañosos sobre las planicies, y 3) Grandes regiones tectónicamente activas.

Los sistemas montañosos dominan la geografía de México. La península de Baja California es uno de ellos, constituida por montañas-bloque de rocas intrusivas y cadenas volcánicas. A lo largo de las costas occidentales se extiende la Sierra Madre Occidental formada por potentes capas de rocas volcánicas del terciario superior. Hacia el sur de este sistema continúa otro: la Sierra Madre del Sur, hasta el estado de Chiapas; su estructura es más compleja: de rocas intrusivas, metamórficas, volcánicas y sedimentarias. La Sierra Madre Oriental, un gran sistema que se reconoce entre los estados de Chihuahua y Chiapas, en gran parte marginal a la costa del Golfo de México, está constituida en su mayor parte por rocas sedimentarias plegadas. El último y más joven es el Sistema Volcánico Transversal, bien reconocido en la región del paralelo 19. Entre las sierras Madre Oriental y Occidental se extiende otra gran estructura: el Altiplano.

Las planicies bajas, de poca altitud, son estrechas, a excepción de la península de Yucatán; en la parte superior una plataforma de rocas sedimentarias del oligoceno-pleoceno. El

resto de estas estructuras son marginales a la línea de costa, tienen desarrollo mayor entre la Sierra Madre Oriental y el Golfo de México, y en menor grado entre la Sierra Madre Occidental y el Pacífico. Son de amplitudes variables en la península de Baja California y hacia el Pacífico sur, en el istmo de Tehuantepec.

A lo anterior es necesario agregar otras estructuras del fondo oceánico, inseparables de las anteriores: la plataforma continental del Golfo de México, el rift del Golfo de California y la trinchera Mesoamericana, marginal a la Sierra Madre del Sur. Podemos incluir también la fractura Clarión, una de las principales del Pacífico, sobre la que se asientan las islas Revillagigedo.

La actividad tectónica en el territorio mexicano resulta, así, notable en el Golfo de California y las márgenes continentales del mismo. También en la Sierra Madre del Sur, por la relación del sistema montañoso con la trinchera. Por último en el Sistema Volcánico Transversal, donde son cientos los volcanes cuaternarios. Esto no excluye el tectonismo en otras regiones: se encuentran volcanes jóvenes en el altiplano, asociados a la Sierra Madre Oriental. La península de Yucatán, una superficie prácticamente plana, es de gran juventud, del plio-cuaternario.

A diferencia de Norteamérica, en México no encontramos las grandes planicies de los escudos, formas equivalentes al peniplano de Davis. Por el contrario, el relieve volcánico cuaternario tiene gran representación, y precisamente en éste se asientan grandes núcleos de población, México y Guadalajara, entre otros.

La actividad endógena está presente en gran parte del país, y sus manifestaciones más claras de reconocer son el volcanismo y la sismicidad.

Los procesos contrarios, los exógenos, son varios, aunque no todos se observan en México; por ejemplo, los criógenos (hielo fósil) presentes en el 50% del territorio de la URSS y cubriendo un 25% del total de la tierra firme (Leontiev y Richagov, 1979). Los procesos glaciares, fundamentales en la geomorfología y en la geología del cuaternario, en México son casos aislados, hoy día limitados a los tres volcanes más altos del Sistema Volcánico Transversal. En cambio, los procesos

fluviales, marinos (litorales), kársticos, eólicos y coluviales se encuentran en grandes regiones de México.

En la actualidad es importante el conocimiento de las grandes regiones geomorfológicas, en las que es fundamental la comprensión del relieve, no sólo en su morfología, sino en su edad, origen, etapas de desarrollo y dinámica actual. De acuerdo con las aplicaciones económicas que esto signifique, habrá regiones —o problemas— prioritarias.

La observación de los mapas topográfico y geológico de la República Mexicana nos permite señalar una serie de problemas geomorfológicos que podemos jerarquizar de la siguiente manera.

1. *Los litorales.* México cuenta con unos 10 000 km de costas, y una amplia plataforma continental en el Golfo de México. Los procesos abrasivos y acumulativos que tienen lugar en ellos, acompañados muchas veces de actividad tectónica y de variaciones del nivel del mar, son de gran importancia por la relación que guardan con la ingeniería de puertos, la pesca, los yacimientos de placer y petrolíferos, y la planificación urbana. Este es uno de los temas más complejos de la geomorfología general, y por esto es tratado por separado por los especialistas, dados los numerosos temas que abarca, como la dinámica del oleaje, las corrientes litorales, las mareas, así como los mecanismos de destrucción de las rocas y la depositación de sedimentos. Este es, a nuestro juicio, el problema geomorfológico más importante de México.

2. *El relieve volcánico cuaternario.* Su importancia radica en que representa una región del país en la que se encuentran grandes núcleos de población, sobre todo en la gran estructura que es el Sistema Volcánico Transversal, donde quedan comprendidos —no la totalidad de sus territorios— los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, México, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, Hidalgo y el Distrito Federal. Pero, además, la actividad volcánica se encuentra en el sur de la península de Baja California, en partes de la Sierra Madre Oriental (el volcán Chichonal, en Chiapas, por ejemplo) y en la Mesa Central. En estas regiones los fenómenos volcánicos son de gran interés por su relación con la formación de los suelos, las aguas superficiales y subterráneas, los bancos de material,

la geotermia, las aguas termales y otros. Esta actividad endógena ha condicionado la formación de lagos en el Sistema Volcánico Transversal, así como procesos glaciares y erosivo-fluviales. Por ejemplo, los lagos de la cuenca de México —entre otros— se originaron cuando las acumulaciones volcánicas interrumpieron el desagüe natural hacia las cuencas oceánicas; los glaciares del Citlaltépetl, Popocatepetl e Iztaccíhuatl surgieron por las alturas sobre el nivel del mar que bruscamente alcanzaron los volcanes, y la erosión fluvial, en especial aquella que se manifiesta por el desarrollo de barrancos, es propia de los relieves volcánicos con lluvias de temporada. Por otro lado, con el volcanismo se relacionan también yacimientos minerales.

3. *Los procesos erosivo-fluviales.* Nos referimos en especial a la remoción de partículas de roca por la acción del agua, fenómeno de gran importancia económica en México. Una forma de manifestación intensa son los barrancos que crecen a gran velocidad en las zonas de relieve volcánico, que en su avance, en la etapa de crecimiento remontante destruyen los suelos y, con frecuencia, también obras de ingeniería tales como carreteras. Tienen gran desarrollo en nuestro país, sobre todo en el Sistema Volcánico Transversal y en la Sierra Madre Occidental. Su estudio resulta importante por cuanto es posible reducir o contener su crecimiento y, en muchos casos, evitar su nacimiento que con frecuencia se debe a la tala de vegetación superior, al mal cultivo de la tierra o al trazo de caminos o canales en forma indebida.

En la Sierra Madre Occidental la erosión vertical se lleva a cabo con gran intensidad, los barrancos han pasado ya a otra etapa: cañones de corrientes permanentes. Pero aquí tienen otro interés: al disecar la superficie con profundidades de 200, 400, 600 o más metros, han puesto al descubierto varios yacimientos minerales.

En el caso hay que señalar también otro proceso afín: la erosión del suelo, o sea, la remoción de éste por la acción del agua o el viento. Este es ya un problema que rebasa a la geomorfología, siendo también de la competencia de la agronomía y la edafología.

Consideramos que éstos son los problemas geomorfológicos principales del territorio mexi-

cano, sobre todo por el hecho de que afectan a grandes núcleos de población. Otros también de importancia, aunque lejanos de las concentraciones urbanas, son los eólicos (en los desiertos) presentes en el norte del país: Baja California, Sonora, Chihuahua. Pero también se reconocen en algunas costas: en Baja California, Sonora, Sinaloa, istmo de Tehuantepec, Tamaulipas y Veracruz entre los mejor conocidos donde la acción del viento forma dunas, proceso que ha sido objeto de numerosos estudios, a nivel mundial, por el daño que causa a la economía y por las posibilidades de frenarlo o evitarlo.

4. Otro caso es el del karst: acción de modelado de la superficie y el subsuelo por el trabajo químico del agua que disuelve algunos tipos de rocas como la caliza. Lo encontramos en las montañas abruptas y despobladas de las sierras Madre Oriental y del Sur, principalmente. Realizar estudios sobre este tema es muy conveniente por la presencia de aguas subterráneas (se han aprovechado, incluso, para dotar a poblaciones), por el peligro que el karst puede representar para las obras de ingeniería, y también porque hay que considerar que, en algunos casos, puede ser un atractivo turístico.

Se encuentra también el karst en otro tipo de región geográfica: la península de Yucatán, en conjunto cubriendo un gran territorio.

En la República Mexicana tenemos regiones tectónicas activas, como la península de Baja California y la margen marina de Sonora (zonas de influencia del rift del Golfo de California), la Sierra Madre del Sur y el Sistema Volcánico Transversal. Como respuesta a la actividad tectónica actúan los procesos exógenos, mismos que en orden a importancia económica son, a nuestro juicio, los litorales y los erosivo-fluviales (estos últimos especialmente importantes en el relieve volcánico).

Con base en lo tratado en este punto, vamos a volver al caso de la teoría de Davis, la que se popularizó en México y, hasta la fecha, es común que se aplique para definir a las distintas regiones geográficas con los términos de juventud, madurez o senectud. Se ha mencionado ya que esta teoría surgió en el último año del siglo XIX como una base de la entonces naciente ciencia del relieve. En los años posteriores evolucionaron notablemente la tec-

tónica y la geología general, y, consecuentemente, la geomorfología, estrechamente ligada a aquéllas. Hoy día sólo podemos entender el relieve terrestre con el auxilio de las teorías tectónicas modernas que nos explican el origen de la corteza terrestre, su evolución en el tiempo y su dinámica actual. Si en algún territorio es difícil de aplicar el ciclo geográfico, es precisamente en el nuestro: el peniplano no existe y es poco probable que esté generándose.

La evolución del relieve no la entendemos hoy día por etapas sucesivas de erosión, sino por una relación entre procesos tectónicos creadores y erosivos, y acumulativos niveladores. Los términos de edad relativa propuestos por Davis, de juventud, madurez y senectud no siempre son aplicables, por eso resulta más cómodo y lógico usar en la geomorfología la cronología geológica. Por ejemplo: ¿Es senil el relieve de la península de Yucatán? ¿Se encuentra en una etapa de rejuvenecimiento? Es más sencillo, naturalmente, explicarlo en términos de tectónica: es una plataforma joven de rocas terciarias que descansan sobre un basamento paleozoico, que se formó por acumulaciones de sedimentos que en el mioceno alcanzaron un espesor de 400 m de carbonatos; en el plioceno y cuaternario se produjo un levantamiento que dio origen al relieve actual (de Cserna, 1975). Otro caso es el del Sistema Volcánico Transversal; si aplicamos la teoría de Davis sólo encontramos que el ciclo de erosión está interrumpido por el volcanismo.

Podríamos también establecer las etapas en que se encuentran las tres grandes sierras Madre. En la Occidental observamos el caso típico de la juventud, y en partes de la Oriental, lo mismo que en la del Sur. Pero surge la cuestión, ¿deben convertirse finalmente en un peniplano? Esto es muy difícil de aseverar, sobre todo en la actualidad en que nos apoyamos en la teoría de la tectónica de placas para entender la historia geológica y la futura evolución de los continentes y las cuencas oceánicas, incluyendo las grandes estructuras integrantes de éstos. Lo mismo puede aseverarse en el caso de la Sierra Madre del Sur, paralela a una trinchera de relativa poca profundidad

(5-6 Km contra 10 y más de las profundas), pero activa, al igual que el sistema montañoso en cuestión. No es fácil, aquí tampoco, hablar de juventud o madurez.

La consideración del relieve en un territorio como el de México, a partir del *ciclo geográfico*, presenta una limitante para su comprensión. Y la nueva teoría de la tectónica de placas ha venido a enriquecer a la geomorfología al dar una explicación racional sobre la corteza, las etapas de su desarrollo y la dinámica actual.

CONCLUSIONES

La evolución de los conceptos sobre el relieve de la Tierra es un proceso largo, de casi 2 500 años, que culmina en el umbral del siglo xx con la formulación de una teoría evolucionista. Se inicia, entonces, una nueva etapa, que en los últimos 25 años alcanza un extraordinario desarrollo, que la diferencia sustancialmente de la geomorfología de la primera mitad de nuestro siglo en la que cabe destacar:

1. Una creciente aplicación en la actividad humana.
2. Existencia de numerosos métodos —en aumento— para el estudio y cartografía del relieve.
3. Diferenciación de varias disciplinas geomorfológicas, tendencia marcada en la actualidad.
4. Una evolución constante hacia una marcada independencia con respecto a las ciencias de la Tierra. Al mismo tiempo estrecha sus lazos con varias disciplinas geográficas, geológicas y geofísicas.

El territorio mexicano está constituido en su casi totalidad por un relieve joven en el que tienen lugar procesos endógenos y exógenos que definen las grandes estructuras. Su estudio es importante por su aplicación en la ingeniería, en la búsqueda de yacimientos minerales, en la agricultura, en los asentamientos humanos y otros.

BIBLIOGRAFÍA Y OBRAS CONSULTADAS

- Biro, P., *Essai sur quelques problemes de morphologie générale*, Lisbona, 1949.
- Cotton, C. A., *Landscape, as developed by the process of normal erosion*, Whitcombe and Tombs, Nueva Zelanda, 1948.
- Cserna, Z. de, "México". En: *The Encyclopedia of world regional geology*, part 1. Ed. by R. W. Fairbridge, John Wiley and Sons, Pennsylvania, 1975.
- Cholley, A., "Morphologie structurale et morphologie climatique", *Annales de géographie*, 1950, T. 59, No. 317, p. 321-335.
- Davis, W. M., "The geographical cycle", *Geographical Journal*, 1899, XIV, No. 5.
- Engeln, O. D., *Geomorphology, sistematic and regional*, MacMillan, New York, 1942.
- Farrington, B., *Ciencia y filosofía en la antigüedad*, Ed. Ariel, Barcelona, 1971.
- Gerasimov, I. P., Mescheriakov, Y. A., "Los rasgos planetarios del relieve y la etapa geomorfológica en el desarrollo de la Tierra". En: *El relieve de la Tierra*, Ed. Nauka, Moscú, 1967 (en ruso).
- Gortari, E. de, *Siete ensayos filosóficos sobre la ciencia moderna*, Ed. Grijalbo, Colec. 70, No. 56, México, 1973.
- Heezen, B. C., Tharp, M., Ewing, M., "The floor of the oceans, I, The North Atlantic", *Geol. Soc. America, Sp. paper 65*, 1959.
- Hinds, N. S., *Geomorphology. The evolution of landscape*, Prentice Hall, New York, 1943.
- Historia de la Geología*, Responsable I. V. Batiushkova, Ed. Nauka, Moscú, 1973 (en ruso).
- King, L., *The morphology of the Earth*, Oliver and Boyd, Edinburgh-London, 1967.
- Leontiev, O. K., Richagov, G. I., *Geomorfología general*, Visshaya Shkola, Moscú, 1979 (en ruso).
- Leopold, L. M., Wolman, M. G., Miller, J. P., *Fluvial processes in Geomorphology*, W. H. Freeman, San Francisco, 1964.
- Lobeck, A. K., *Geomorphology*, McGraw Hill, New York, 1939.
- Machatzchek, F., *Das relief der Erde*, T. I-II, Gebrüder Bontraeger, 1955.
- Markov, K. K., *Problemas básicos de la geomorfología*, Geografiz, Moscú, 1948.
- Menard, H. W., *Marine geology of the Pacific*, McGraw Hill, New York, 1964.
- Mescheriakov, Y. A., *Geomorfología estructural de los países de planicie*, Nauka, Moscú, 1965 (en ruso).
- Nikolayev, N. I., "Sobre el contenido y las tareas principales de la geomorfología", *Rev. Geomorfología*, Acad. Cien. URSS, 1976, No. 4, p. 23-24 (en ruso).
- Penck, W., *Die morphologische Analyse*, J. Engelhorn, Stuttgart, 1942.
- Russell, B. (1935), *Religión y Ciencia*, Fondo de Cultura Económica, Breviario No. 55, México, 1965.
- (1949), *La perspectiva científica*, Ed. Ariel, Barcelona, 1969.
- Simonov, Y. G., "Problemas generales de la geomorfología de exploración". En: *Problemas de geografía* No. 92, Moscú, 1973, p. 8-17 (en ruso).
- "La ingeniería geomorfológica, tareas principales y senderos de desarrollo". En: *Problemas de geografía*, No. 111, Moscú, 1979, p. 14-21 (en ruso).
- Spiridonov, A. I., "Sobre algunos problemas teóricos de la geomorfología", *Rev. Geomorfología*, Acad. Cienc. URSS, 1974, No. 2, p. 57-63 (en ruso).
- "Sobre el contenido de la geomorfología (continuación de la discusión)", *Rev. Geomorfología*, Acad. Cienc. URSS, 1979, No. 4, p. 34-42 (en ruso).
- Svarichevskaya, Z. A., "Geomorfología". En: *Diccionario geológico*, T. I, Nauka, Moscú, 1978, p. 146 (en ruso).
- Timofeyev, D. A., "De la historia del nombre de la ciencia del relieve", *Rev. Geomorfología*, Acad. Cienc. URSS, 1975, No. 4, p. 47-51, Moscú (en ruso).
- "Antiguos y nuevos senderos del desarrollo de la geomorfología", *Rev. Geomorfología*, Acad. Cienc. URSS, 1981, No. 4, p. 54-59 (en ruso).
- Tricart, J., Cailleux, A., *Cours de géomorphologie. Géomorphologie structurale*, C. D. U., Paris, 1952.
- *Cours de géomorphologie. Introduction a la géomorphologie climatique* C. D. U., Paris, 1956.