

ESBOZO HISTÓRICO DE LA GEOMORFOLOGÍA Y SU PAPEL COMO CIENCIA APLICADA EN EL CONTEXTO DE LOS PELIGROS NATURALES Y LOS PLANES REGULADORES

AN HISTORICAL LOOK AT GEOMORPHOLOGY AND ITS ROLE AS AN APPLIED SCIENCE IN THE CONTEXT OF NATURAL HAZARDS AND LAND USE PLANNING

Luis Nelson Arroyo González¹

RESUMEN

En este artículo se realizan algunas consideraciones relacionadas con los antecedentes históricos que han contribuido al nacimiento de la geomorfología como ciencia. Los enfoques y perspectivas de autores representativos se insertan a manera de proveer un hilo conductor que sitúa y analiza estos aportes, de forma que se observen las etapas más relevantes tanto en su construcción epistemológica como en el abordaje de los peligros naturales y su aplicación en los planes reguladores.

Palabras clave: Geomorfología; peligros naturales; uso de la tierra.

¹ Académico, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: larroyo@una.ac.cr

Fecha de recepción: 19 de agosto del 2011
Fecha de aceptación: 10 de noviembre del 2011

ABSTRACT

This article takes into consideration the historical antecedents that have contributed to the emergence of geomorphology as a science. Approaches and perspectives of some authors are inserted as a way to comment on the more relevant stages in this epistemological approach to natural hazards and their application in land use planning.

Key words: Geomorphology; natural hazards; land use planning.

Breve reseña histórica

La Geomorfología es el estudio de todos los procesos de erosión y sedimentación, por efecto de los diferentes agentes meteóricos, tectónicos, volcánicos, antrópicos, etc. que han actuado y actúan sobre el relieve terrestre, en los últimos dos millones de años, es decir, desde el inicio del Cuaternario, y que afecta hasta los fondos oceánicos (Geomorfología dinámica). También, estudia la estructura terrestre y su origen (Geomorfología estructural). Su estudio permite a la humanidad planificar y ordenar el medio donde habita, respetando el medio ambiente (Bergoeing, J. P. 2008).

La Geomorfología es el estudio científico de las formas de la superficie terrestre. Por elipse, los geógrafos emplean frecuentemente la palabra *morfología*, y llaman *morfólogo* al especialista de esta ciencia. Se distingue, habitualmente, una geomorfología estructural que estudia el relieve, y una estructura climática que se interesa por el modelado. (George, P., 1974).

Como ciencia, es un campo de advenimiento reciente, ya que las premisas básicas que la sustentan se remontan al primer cuarto del siglo veinte, siendo hasta la Segunda Guerra Mundial, cuando comienza una etapa en la que, se producen aportes novedosos, tanto en sus enfoques teóricos como en los alcances metodológicos derivados de aplicaciones significativas, y que empiezan a consolidarse como distintivos del análisis geomorfológico.

La geomorfología es una ciencia que nace en Francia, a fines del siglo XIX, con Emanuel de Martonne. Alcanza sus cartas de nobleza a mediados del siglo XX con la Escuela de Estrasburgo, dirigida por el Dr. Jean Tricart (1920-2003).

En concordancia con este progreso, en los últimos veinticinco años, lo prolífico de esta ciencia se traduce en una ingente productividad en cuanto a libros, artículos y revistas especializadas, aunado a una creciente especialización que ha permitido pasar del texto introductorio general, a

la profundización del abordaje de temas específicos, desde diversas ópticas. Al estudio de estos contenidos particulares, se agrega la evolución de la geomorfología desde el modo de explicación temporal y el enfoque inductivo, para moverse, esencialmente, desde este procedimiento de clasificación hacia la adopción de un método de investigación radicalmente diferente, basada en el uso del método científico deductivo (Anderson, M. & Burt, P., 1990). La admisión de este enfoque se considera como causa y efecto de las tendencias más recientes en la Geomorfología. Debe recordarse que, hasta principios de los años 50, el ciclo de erosión del modelo de William Morris Davis (1850-1934), con sus tres estadios sucesivos, había llegado a ser más que una simplificación de un modelo de la realidad y una antigua concepción, dentro de la que los problemas de la Geomorfología podían ser organizados.

La teoría explicativa sobre la evolución del relieve terrestre que Davis, dentro del marco del uniformitarismo, formuló en los tres lustros finales del siglo XIX, y que se denominó *ciclo de erosión*, se basaba en un modelo teórico que, a partir de movimientos de elevación de la corteza terrestre por sobre el nivel base, producía un proceso erosivo gradual que perduraba a lo largo de las eras geológicas, para acabar, finalmente, con una penillanura final. El agente principal es la red de drenaje que se va encajando en el terreno. (R.S. Jarvis; N.J. Clifford 2005). Las fases de este proceso erosivo se planteaban como inicial o de juventud; de madurez; y final o de vejez; cada una de ellas daba origen a formas de relieve diferenciada. (Universidad de Barcelona, 1983).

En el ámbito europeo ligado a estos temas, los postulados de Davis gozaron de gran aceptación, incluso, la geografía francesa se hizo eco de su teoría. Emmanuel de Martonne (1909), en su *Traité de Géographie Physique*, introduce estas ideas en el ambiente académico de la época (Universidad de Barcelona, 1983).

Tal fue la acogida de estos postulados, que la geomorfología francesa de los años 1910 y 1920 se califica como decididamente Davisiana. No obstante este auge, las evidencias empíricas no tardaron en desvirtuar esta teoría, ya que estudios particulares en regiones concretas de Francia y otros países (Norte de África, Gran Bretaña, Estados Unidos, Alemania) hicieron aportes prácticos, en que los supuestos teóricos no encajaban en el modelo de Davis. Por un lado, la ausencia de agua en algunas regiones no

explicaba cómo el ciclo no podía desarrollarse, al menos por igual. Asimismo, la presunción davisiana, al requerir un periodo largo de inestabilidad tectónica, estaría sujeto a, eventualmente, a interrupciones, por lo que el rejuvenecimiento daría origen a relieves escalonados, y por tanto, originarían penillanuras escalonadas.

El aspecto climático jugó un papel preponderante, ya que la erosión “normal”, dentro del postulado de Davis, pasa a ser solamente un caso singular dentro del clima templado, y por lo tanto, una variable fundamental que permitiría estudiar sistemas diferentes ubicados en otras zonas climáticas (Universidad de Barcelona, 1983).

En Francia, a partir de 1920, este tipo de estudio, se enmarcan posiciones regionales-historicistas. (ídem) Dentro de esta concepción física destacan los geógrafos de la Escuela de Vidal de la Blache, los cuales, entre 1928 y 1965, realizaron tesis regionales con énfasis geomorfológico. Estos estudios, al igual que otros efectuados en otros países, demostraron, con datos empíricos, la no validación del modelo teórico de Davis. La introducción de los estudios climáticos reforzó el papel preponderante de esta variable, en su papel modelador de las formas del relieve. Este apego a la importancia de los datos, de los hechos frente a supuestos teóricos, se enfatiza cuando Max Derruau escribe “El primer trabajo del geomorfólogo es, pues, *la observación directa de las formas del terreno*, observación que naturalmente debe evitar las ilusiones ópticas y que intentará ver el relieve desde distintos ángulos”. (ídem). (Universidad de Barcelona, 1983, p.4). Es evidente que, antes que teorías, se impone la “descripción” del paisaje geomorfológico, para así adentrarse en los detalles de su formación y en las etapas que le dan su conformación actual.

Una polémica semejante se dio también en la Escuela de la Geografía alemana, en donde Siegfried Passarge y Alfred Hettner se convierten en dos grandes críticos de Davis, al señalar que su teoría sobre el ciclo de la erosión tampoco calzaba en estudios de carácter regional. Passarge se convirtió en un defensor del método inductivo frente al deductivo o explicativo, y enfatizó en la necesidad de “estudiar cuidadosamente los hechos del paisaje visible antes de intentar explicarlo” (Universidad de Barcelona, 1983, p.6). A su vez, Albrecht Penck (1858-1945) que en un principio aceptó las ideas de Davis, se distanció de ellas para afirmar que en realidad lo que discutía era un enfrentamiento entre los enfoques inductivo y deductivo.

Los trabajos de Penck, y de su hijo Walter Penck, plantearon que tanto los levantamientos como la erosión no eran aspectos separados, sino que sucedían simultáneamente y en profunda interacción. Surge de aquí el concepto de sistema morfogenético, en el que los factores climáticos y los estructurales sientan las bases para los análisis que se remonta hasta nuestros días. A su vez, tanto alemanes como franceses, discuten sobre la cronología y la necesidad de ubicar, con precisión, en el tiempo las formas del terreno, y no en función de los tres estadios que Davis planteaba. Con la incorporación de este aspecto, en cuanto a la edad de las formas, se agrega un elemento esencial en los estudios geomorfológicos actuales.

Las referencias con base explícita en el enfoque davisiano desaparecen en Europa a partir del año 1920, y en los Estados Unidos en 1930, por lo que puede afirmarse que, a partir de esos años, la Geomorfología prescinde de los enfoques explicativos y deductivos para abordar los estudios concretos, que se basan en un enfoque historicista y empírico. Dentro de la Geografía Física, este enfoque no fue privativo solo de la geomorfología, sino que la climatología recibió también esta influencia, ya que se buscó el énfasis particular del clima en cada región y su asocio con la topografía, la exposición y otros factores. Esta tendencia se da en la geografía francesa hasta el año de 1960.

Jean Tricart, asistente primero del profesor André Cholley, quien fuera su director de tesis en la Universidad de La Sorbona en París, se inicia como profesor en la Universidad de Estrasburgo, donde, en 1956, funda el Centro de Geografía Aplicada. En los años 70 junto a Georges Bertrand, es el renovador de la Geografía Física francesa e insiste en la necesidad de la práctica de la Geografía Física global, y en donde la naturaleza se inscribe en lo social. Creó y dirigió la (*Revista de Geomorfología Dinámica*).

En el contexto anglosajón, desde el año de 1940, se dan los primeros pasos hacia una Geomorfología cuantitativa y teórica, la cual se califica como una auténtica “geomorfología científica”, en oposición a la etapa más cualitativa que le precedía. Trabajos como el de los ingenieros R. E. Horton sobre *Erosional development of streams and their drainage basins* (1945), y el de J. E. Mackin sobre *Concept of the graderiver* (1948), así como el de A. N. Strahler sobre *Equilibrium theory of slopes* (1960); introducen los fundamentos de una corriente con fuerte acervo cuantitativo.

La búsqueda y aplicación de conceptos matemáticos es parte de un corolario que ya planteaba Kuhn en 1962, en cuanto a que cualquier

postulado –refiriéndose a Davis–que dejara preguntas sin respuestas, más que dejar explicaciones exitosas en sí mismas, abría la necesidad de reemplazarlo por un enfoque completamente nuevo. La llegada de este planteamiento se concretó por la introducción de la cuantificación en la Geomorfología, y por la adopción del análisis estadístico; como método para probar hipótesis (Strahler, 1950, Melton 1957, Chorley 1966; citado por Anderson, M., 1990).

Derivado del énfasis de esta nueva corriente, las investigaciones, por ejemplo, sobre redes fluviales con procesos de erosión y transporte, adquieren gran importancia, lo cual es paralelo al desarrollo de la Geografía Humana, ya que, a mediados de 1960, sus alcances también se adentraban en los análisis de mallas basados en la topología. Dos publicaciones marcan un hito significativo en este nuevo enfoque: la *Theoretical Geomorphology* de A. E. Sheidegger (1961) y la *Theoretical Geography* de W. Bunge. (1983).

Este cambio de enfoque en los estudios geomorfológicos es coincidente con el desarrollo de una “nueva geografía”, la cual introduce categorías cuantitativas y teóricas, diferenciándose, por tanto, de la etapa precedente con apoyo en las descripciones de tipo cualitativo. Los alcances de estas perspectivas de análisis se extienden no solo a los temas de índole física, sino que la geografía humana se adentra también en la utilización de métodos con fundamento estadístico y matemático.

En el enfoque cuantitativo está implícito el uso del método científico deductivo, con lo cual el enfoque teórico de la forma de un paisaje y su desarrollo ha reemplazado el elucidar secuencias de una única forma del terreno, que fue dominante durante la era de denudación cronológica de Davis.

Para Anderson y Burt (1990), este enfoque teórico es dependiente de la formulación de una visión idealizada de un modelo de la realidad, ya que tales modelos pueden ser probados, o confirmar que en verdad son aceptables o, en su caso, reflexiones del mundo real, y si ese no es el caso, pueden ser revisados y mejorados. De esta forma, la explicación de eventos individuales llega a ser, bajo el enfoque deductivo, un proceso más eficiente, ya que las afirmaciones generales son planteadas para cubrir todos los eventos, más que producir una única explicación basada en los objetos o eventos por sí mismos (Strahler, 1950; Melton, 1957; Chorley 1966); (citado por Anderson, M., Burt, P. 1990)

Uno de los periodos considerados como de avanzada en el desarrollo de la nueva geomorfología podría estar representado por lo que Richard J. Chorley ha denominado la *fase realista*. De acuerdo con esto, esta corriente representa una crítica hacia los enfoques funcionales, los que enfatizaban en la regularidad de las formas como consecuencia de la regularidad de los procesos. Tal afirmación no es del todo exacta, ya que formas similares pueden ser originadas por procesos diferentes. De ahí que los cambios producidos por la erosión o por la creación de nuevas líneas de costa, por ejemplo, requieren el planteamiento de problemas desde una perspectiva que los estudie con más detalle y profundidad (Universidad de Barcelona, 1983, p.11-12).

La aparición de posiciones críticas respecto a los alcances de la nueva Geomorfología, parecen coincidir con algunas tendencias de la geografía humana, en las que la criticidad y el radicalismo orientan el desarrollo de las investigaciones. La corriente cuantitativa en la Geomorfología, en particular de carácter funcionalista, plantea discusiones teóricas y prácticas en relación con temas en los que la simplificación excesiva de la realidad deja por fuera un balance apropiado entre todas las variables que participan en la dinámica de los procesos geomorfológicos.

Este interés por desentrañar con mayor detalle la realidad hace que Chorley escriba respecto a la Geomorfología que esta disciplina está cada vez más afectada por el problema de “sus relaciones con las aspiraciones y el bienestar humano”. (Universidad de Barcelona, 1983, p.13). Esta posición lleva implícita “una clara conciencia de la necesidad de incorporar consideraciones éticas y sociales en el trabajo del geomorfólogo”. (Idem).

La inclusión del tema social en las investigaciones geomorfológicas se propaga con rapidez, no solo entre los especialistas de este campo, sino que las implicaciones prácticas de una disciplina con una específica raíz en el medio físico no tardan en establecer lazos de reciprocidad y complemento con campos de conocimiento, cuyos objetos de estudio, focalizados en las actividades humanas, podrían parecer años atrás como no viables. Estos nuevos abordajes incluyen –como tendencia significativa– las aproximaciones que, desde la óptica de la percepción del medio natural, realizan los geomorfólogos, las por ejemplo, respecto a los territorios en riesgo por amenazas naturales diversas.

La Geomorfología al evolucionar hacia enfoques de mayor ámbito interdisciplinario gracias a la creciente atención que suscitan sus aplicaciones, los lineamientos del levantamiento, el análisis y el mapeo en esta ciencia en las últimas décadas, se explica más apropiadamente partiendo de dos direcciones. La primera de ellas se denomina “estudios sistemáticos” y se plasma en mapas geomorfológicos analíticos (Van Zuidam, R. 1985). De acuerdo con este autor, este tipo de enfoque es principalmente monodisciplinario—y, además de dar información acerca de las formas del terreno y de los procesos exógenos, enfatiza en la morfogénesis y la morfocronología, incluyendo también aspectos morfoestructurales. En segundo lugar, se plantean las investigaciones entre el plano geomorfológico, por un lado, y la diversidad de elementos del medio ambiente, por el otro, ubicando así el terreno dentro de un levantamiento ecológico del paisaje o medioambiental, que resulta en un mapa sintético u holístico. Como detalle sobresaliente, estos mapas tienen la ventaja de ser el producto de una visión multidisciplinaria, ya que no solo integran datos geomorfológicos, en particular de las formas del terreno, sino que también explican sobre procesos exógenos, la litología, los suelos y los sedimentos, la vegetación, las condiciones del agua superficial y de la subterránea, etc.

Ambos acercamientos son complementarios, ya que, uno aporta los detalles del terreno en particular, mientras que el otro lo sitúa en el contexto de las interrelaciones ecológicas. Tanto la Geomorfología como los estudios de análisis del terreno abarcan aspectos de amplia variedad, asociados a la diversidad de condiciones del medio en los que se sitúan, así como también a los procesos que les dan su modelado. Precisamente, es a partir esta fusión que se arriba al carácter de esta ciencia como ciencia aplicada. De las descripciones y análisis de los aspectos que configuran los territorios, se infiere la limitación que significaría transmitir verbalmente imágenes inherentes a las dinámicas de las tierras, prescindiendo de los alcances gráficos; es decir el documento, es por antonomasia, en el que se dibujan —entre muchos aspectos— la forma, el tamaño y la posición.

Los mapas constituyen así el mejor medio para su compilación, ya que las escalas que se diseñan permiten trabajar con diversos volúmenes de información, abarcar las categorías de los fenómenos a representar e identificar tipos de mapas de acuerdo con criterios de contenido, propósito etc. Para Verstappen (1983), que clasifica estos mapas como de propósito

general o aplicados, es sorprendente que se desarrollaran tan tarde, citando a Tricart, 1962, 1978 y Halls, 1977, ya que aparejado al conocimiento general del medio que la humanidad gradualmente adquiría, también desarrollaba preferencias por sitios para vivir, basados en consideraciones de tipo estratégico, de disponibilidad de agua y de cercanía de cotos de caza y de tierras apropiadas para la agricultura. El aprendizaje que adquiría a partir de estas decisiones le permitía también diseñar y perfeccionar tecnologías que afinaron el uso de los recursos en los territorios y discriminar, en el tiempo, las ventajas comparativas entre espacios. Quizás el advenimiento tardío de los mapas geomórficos aplicados deviene en los lapsos amplios en que se movía la evolución geológica de las formas del terreno, sin que a ello se le reste importancia; el hecho es que en la escala temporal para fines prácticos, el énfasis en los cambios debía ser puesto dentro de períodos comprendidos por algunos años o quizás generaciones. Asimismo, el fortalecimiento de la Geomorfología aplicada encuentra su explicación en varios factores, entre ellos la modernización de las técnicas, los métodos de investigación, la utilización creciente de fotografías aéreas e imágenes de radar, así como la disponibilidad de imágenes satelitales y el tratamiento por computador.

Por ello, el interés en la importancia de la configuración geomorfológica de la corteza terrestre, para el estudio de la apropiada utilización del ambiente como un todo, ha estimulado las técnicas del levantamiento y el mapeo geomorfológico, particularmente por la urgente necesidad del desarrollo de los recursos y el manejo ambiental en casi cualquier parte del mundo.

Indistintamente del método de investigación, del tema o de la especialidad, el análisis geomorfológico no será completo sino media un análisis comprensivo de trabajo con fotografías aéreas, imágenes satelitales, trabajo de campo y de laboratorio. La relevancia de la Geomorfología, aplicada en la actualidad, ha adquirido mayor vigencia en función de las profundas transformaciones socioambientales a las que el mundo actual se ve enfrentado. Los estudios irrefutables sobre los cambios físicos drásticos a escala planetaria, aunado a fuertes presiones demográficas en áreas marginales, la desertización y la presión sobre los recursos naturales, obligan a un mayor entendimiento de las diferenciaciones espaciales que la Geomorfología identifica como parte de su quehacer.

La Geomorfología y los peligros naturales

En el entorno anglosajón, los trabajos de White, Burton y Kates son los primeros que manejan el concepto de “riesgo” en el sentido moderno, otorgando un enfoque global (la importancia del factor humano en la consideración del grado de riesgo) al tratamiento de los eventos excepcionales de la naturaleza (geofísicos y atmosféricos) (Ayala Y.; Olcina J., 2002). En los años setenta, Tricart trataba este tema en su *Geomorphologie Dynamique*.

En un trabajo del año 1964, Burton y Kates, en lo que se entiende como el paradigma dominante en la investigación geográfica sobre los riesgos naturales, definirán el riesgo natural como el conjunto de elementos del medio físico y biológico nocivos para el ser humano y causados por fuerzas ajenas a él.

Entre las contribuciones iniciales se dio de esta nueva disciplina, orientada al estudio de los riesgos individuales en un territorio, se dio paso, a partir del trabajo de Hewitt y Burton sobre la peligrosidad de los lugares en 1971, al análisis territorial de la peligrosidad natural en su conjunto.

En el ámbito francés, el avance del enfoque cuantitativo y la capacidad predictiva de los modelos estadísticos, así como el alcance multidisciplinario de la Geomorfología en campos relacionados con la planificación urbana, la ingeniería civil y el desarrollo costero entre otras, muchas más; da inicio en las últimas décadas a la Geomorfología aplicada, la cual, a su vez, sustenta la fundación del Instituto de Geografía Aplicada por Jean Tricart.

Es evidente que la Geomorfología juega un papel decisivo en las relaciones que las sociedades establecen con el medio ambiente. Por un lado, este último provee parte del sustento físico del cual los grupos humanos extraerán recursos; mientras que por otro, estas actividades pueden dar origen a efectos adversos en los territorios bajo uso. Esta gama de impactos abordada desde la óptica de esta especialidad debe inscribirse en un marco interdisciplinario, ya que la misma debe considerar los aportes importantes desde otras disciplinas (Rodríguez, 2002).

Por tanto, el/la geomorfólogo/a no solo debe proveer información relevante sobre la situación geomorfológica en sentido estricto, por medio de los levantamientos analíticos, sino armonizar con datos multidisciplinarios aportados por los levantamientos sintéticos de la tierra, que para ser llevados a cabo deben ser puestos en su contexto ambiental. Los dos

enfoques deben ir de la mano. Aparte de esto, se entiende que su aplicación en la planificación debe asociarse a las actividades humanas y a aquellas situaciones extremas en las que los peligros naturales exacerbaban procesos de vulnerabilidad ambiental.

Los espacios geográficos sobre los que los grupos poblacionales han organizado sus actividades corresponden a realidades territoriales, por lo general, de amplia diversidad fisiográfica. Estos contrastes están en una relación lógica con la extensión de la unidad administrativa estudiada, si ese fuera el caso, dado que la continuidad natural de los ecosistemas y las unidades de relieve trascienden estas convenciones, por ende, es imperativo homologar los criterios y las consideraciones con las regulaciones que norman los territorios vecinos. Toda la diversidad de parámetros que marcan la dinámica del medio físico constituye componentes de un engranaje cuya sincronización es esencial, para el diseño de las pautas que guiarán los criterios en la zonificación de los usos más idóneos para un espacio dado. La variedad de ocupaciones que configuran un espacio están sujetas, en mayor o menor grado, y de acuerdo a su naturaleza, a las restricciones o las ventajas que el medio físico presente. Y no es que ciertas limitaciones naturales no puedan salvarse utilizando medios técnicos o de infraestructura que rebajen o atenúen eventuales situaciones o eventos extraordinarios; lo importante es que existan. De ahí se deriva el cómo subsanar o disminuir el grado de limitación de manera que, una recomendación apropiada y a tiempo, contribuya por un lado a la salvaguarda de territorios frágiles y, por otro, a detener y a remediar procesos de deterioro ambiental que pueden tornarse sino irreversibles, de un alto costo económico el estabilizarlos o en el peor de los escenarios, afectar vidas y bienes.

En ese sentido, el enfoque aplicado que se trataba con anterioridad se denomina también estudio ambiental, ya que trata problemas estrechamente relacionados con el medio ambiente, enfilando su interés hacia la información que permita una mejor gestión del entorno. Esta especialidad de la Geomorfología aborda tanto procesos de tipo catastrófico, como aquellos de acción continua y uniforme. Y dado que su prioridad es el ambiente, centra su análisis en aquellos cuyo origen parte de causas naturales; así como los que, directa o indirectamente, se asocian a las acciones antrópicas. Al partir de estas premisas, tal abordaje se inscribe en la radicalidad

de las transformaciones que experimentan los espacios naturales, como resultado de la extensividad de la ocupación humana en el planeta Tierra.

A raíz de ello, la Geomorfología se involucra activamente con las ciencias que más han contribuido a conformar su actividad directamente, en este caso, con la Hidrología y la Agronomía. La primera de ellas se convierte en el eje desde el que se revitaliza la teoría y la metodología, a partir de la adopción del concepto de sistema y de su aplicación a la cuenca de drenaje, considerada por ello como la unidad geomorfológica básica (Sala y Batalla, 1996). La segunda mantiene su énfasis en la adopción de numerosas técnicas y de métodos de estudio referentes al ámbito de los procesos que, como la erosión, son punto de partida en el análisis de los agentes que intervienen en el modelado de los relieves, así como en la protección y el control de la pérdida de tierras. En forma indirecta, aunque no por ello menos importante, la Geofísica con sus aportes, sobre la tectónica de placas, y su impacto en la Geomorfología estructural y la Física, a través de la aplicación de los conceptos de la fuerza y la resistencia aplicados al estudio de los procesos que modelan las formas del relieve (Strahler, 1952, citado por Sala y Batalla, 1996).

El enriquecimiento metodológico y analítico aportado por estas disciplinas marca la vanguardia en los temas de la Geomorfología reciente, ya que, acorde con sus preocupaciones por el medio ambiente, avanza en el énfasis de los procesos actuales y su relación con el modelado. De ahí que, en el campo de la Geomorfología actual, el interés principal es el estudio de los procesos como manera de explicar las formas de relieve y el cómo estas dinámicas se han convertido en el medio principal de todo intento por explicar las formas de éste.

La Geomorfología y los planes reguladores

La conformación de los paisajes actuales es el resultado de las transformaciones que diversos agentes físicos efectúan sobre la superficie terrestre. Así, la creación de relieves nuevos en las llanuras aluviales, como influjo de los desbordamientos periódicos de los cursos fluviales, introducen cambios sustantivos en la mecánica de sedimentación y, por ende, en la conformación de nuevas unidades de relieve. Las dinámicas que sustentan la acción del oleaje modifican de forma incesante las líneas costeras e introducen la evolución constante en los paisajes aledaños. Los terremotos

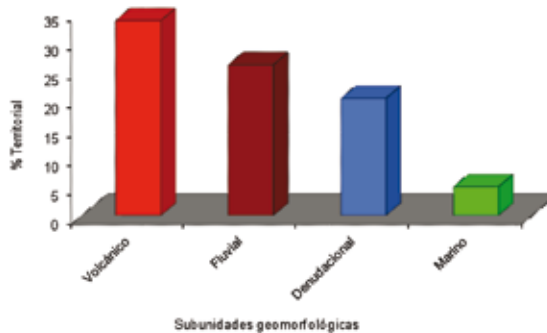
se convierten también en factores que, en segundos, alteran y marcan la configuración de los relieves, propiciando la inestabilidad en taludes, y exponiendo a la acción de la dinámica erosiva a la fragilidad de los materiales meteorizados constitutivos de las laderas. En estos y otros contextos de índole natural, las acciones antrópicas también jalonan impactos espaciales sensibles en los territorios, agregando componentes de inestabilidad y de deterioro en el ambiente.

Los fundamentos teóricos, así como las técnicas que sustentan este enfoque geomorfológico ambiental, tienen su punto de partida en la Geomorfología de procesos, por lo que el especialista en este campo adquiere y aplica una dimensión de mucho mayor riqueza analítica, para comprender la variedad de mecanismos que interactúan en el medio ambiente, así como el grado y la complejidad de sus alteraciones. En aras de ampliar este ámbito de acción, recurre a conceptos y la técnicas de la Geomorfología estructural y climática, así como al reconocimiento litológico y a las formaciones superficiales, plasmando estos resultados mediante la Cartografía con colores asignados para las principales unidades genéticas, además de como símbolos lineales en contraste blanco-negro, dependiendo de la importancia que el autor le asigne a cada aspecto. Es así como la preocupación por el medio ambiente pone en relieve los temas destacados, tales como la alteración de las cuencas fluviales derivadas de impactos por actividades asociadas a los usos de la tierra y sus modalidades de ocupación, el deterioro ocasionado por la deforestación y el avance indiscriminado de la urbanización, los efectos de los procesos de erosión hídrica a raíz, tanto de agentes naturales como antrópicos, aunado a las profundas transformaciones que acaecen en los espacios litorales como resultado de la dinámica costera y de la convergencia de actividades turísticas, recreativas y de ocio.

Por ello, en la esfera conceptual y operativa de los planes reguladores, el estudio geomorfológico es una herramienta que trasciende el plano descriptivo para convertirse en un instrumento propositivo, de análisis de planteamientos y fijador de las directrices que orientarán las propuestas de ordenamiento y de localización espacial, que mejor expresen la congruencia de las realidades físicas con la multiplicidad de usos que componen un espacio geográfico determinado. En su más genuino sentido, el mapa geomorfológico provee a la Cartografía de la temática que expresa la base

territorial, que se constituye luego en la micro especialidad gráfica que permite sintetizar, en el papel, las limitaciones y las aptitudes presentes en un territorio. Es así que, el contexto físico expresado mediante el levantamiento geomorfológico no se circunscribe únicamente a la explicación del origen de las formas delimitadas o a su nomenclatura expresada en el mapa, sino que el análisis enlaza aquellos elementos en los que el ambiente interactúa con elementos sociales, políticos y económicos. La información aportada es de utilidad para las Municipalidades u otras instituciones, ya que, en primer lugar, definirá los lineamientos sobre la forma más apropiada de administrar un territorio, a la vez que provee detalles sobre las diferentes aplicaciones, tales como definir regiones o subregiones de planificación y manejar las cuencas hidrográficas, entre otras. El conocimiento derivado de los levantamientos no solo permite sintetizarse a través de los mapas, sino que puede expresarse mediante lenguajes gráficos, en los que las descripciones se transformen en recursos amenos y más entendibles (Arroyo, 2008). (Véase gráfico 1).

Gráfico 1. Esparza: subunidades geomorfológicas con potencial sísmico por la presencia o cercanía de fallas activas y daños a infraestructura, 2008



Fuente: Mapa Geomorfológico, Cantón de Esparza y cuadro 1.

Procesos y actores de la representación cartográfica en Geomorfología

El reconocimiento y el mapeo geomorfológicos se consideran en el presente como una herramienta y un requisito esencial en la investigación

de la Geomorfología aplicada. El mapeo preciso de formas de la tierra, los procesos exógenos y toda la información geomorfológica relevante a escalas apropiadas, es solo factible si todos los aspectos del relieve, incluyendo el génesis y el contexto del paisaje ecológico, se estudian y se analizan. Ya que la distribución espacial y la clasificación de las formas de la tierra y los fenómenos relacionados tienen una importancia considerable para el estudio de los recursos renovables y su utilización racional por las sociedades humanas; los resultados de las investigaciones geomorfológicas, representadas en la forma de mapa, sirven no solo para el avance de la ciencia, sino que pueden ser aplicadas a numerosos aspectos del manejo ambiental.

De ahí que, la elaboración cartográfica debe permitir la identificación y la exacta descripción de las formas, así como indicar la posición y su génesis. Debe incluir también la relación espacial entre formas adyacentes y las relaciones temporales o cronológicas, mediante los siguientes aspectos:

Morfografía: abarca los aspectos descriptivos de la Geomorfología de un área, tales como planicies, colinas, montañas y mesetas, entre otros. Analiza los aspectos descriptivos de la Geomorfología de un área, como llanuras aluviales, mesetas topográficas o estructurales, valles en V o en U, etc.

Morfometría: incluye los aspectos cuantitativos de un área, por ejemplo, el grado de pendiente, la altitud, la exposición y el grado de rugosidad, entre otros. Los mapas topográficos con curvas de nivel dan información esencial al respecto, por ello el mapa geomorfológico debe contar con una base de escala que va del 1:50.000 al 1:5.000. Esto permite agregar detalles como las terrazas fluviales, lo empinado de las pendientes y los deslizamientos o escarpes. Todo ello contribuye a un mejor entendimiento de la situación geomorfológica

Morfogénesis: explica el origen y el desarrollo de las formas y los procesos formadores que actúan sobre ellas. Debe mostrar el efecto combinado de procesos geomorfológicos exógenos en el pasado y en el presente, así como procesos neotectónicos endógenos como por ejemplo un valle antecedente.

Morfocronología: indica la edad relativa y la absoluta y las formas y los procesos relacionados. Para ello se cuenta con métodos de dataciones absolutas, como la termoluminiscencia, el C^{14} o el método Potasio/Argón, por citar algunos.

Morfoestructura: comprende la litología y la estructura geológica como soporte del desarrollo de las formas. Estos factores tienen un profundo efecto en las formas y los procesos que ocurren, ya que cada una está caracterizada por el período de su formación y su posterior desarrollo. Es esencial hacer una distinción entre formas de diferentes edades, particularmente entre formas recientes y aquellas pertenecientes a períodos tempranos con las condiciones climáticas prevalecientes.

Consustancial a la información anterior, una de las limitaciones en la elaboración de los mapas geomorfológicos es la gran variedad de datos que pueden incluirse, por lo que debe preverse no sobrecargarlos, con el fin de no desestimar su consulta. Un principio guía es la simplicidad, acompañada de información esencial, en suma con la generalización y la omisión de datos de menor importancia. Asimismo, parte de la información requerida puede ser incluida en la descripción del fenómeno geomorfológico, y no en el mapa en sí mismo, otra posibilidad al producir varios tipos de mapas geomorfológicos con contenidos que se ajusten a su propósito. Si la totalidad de la información se considera indispensable, los datos pueden ser divididos en forma apropiada sobre dos mapas que cubran la misma área.

La representación gráfica que conlleva el plasmar información del terreno en el papel es un aspecto de primordial importancia, cuando de legibilidad y de balance informativo se trata. Además, esta representación mantiene una relación directa con la escala, el detalle de los datos a expresar y, por ende, con el tipo de asunto que se desea explicar. En un mapa de esta naturaleza, todos los componentes están directa o indirectamente relacionados con la topografía y la sola representación que, sin el trasfondo que dan las curvas de nivel, se tornan irrelevantes al efectuar consideraciones a profundidad, sobre todo cuando se realizan comparaciones territoriales (Van Zuidam, R. 1985). La rápida observación del terreno en un mapa es solo posible por la yuxtaposición de las curvas de nivel y otra información topográfica, particularmente el patrón de drenaje. El mérito de las curvas de nivel en la representación del relieve descansa no solamente en un procedimiento sistemático y geométrico correcto, sino que resulta en una buena visualización del terreno natural por medio de patrones coherentes. Las diferencias en la forma del terreno, producidas de esta forma,

son a menudo notables por las conclusiones que pueden ser deducidas de un buen mapa topográfico, que comprenda tipos de formas, litología, etc. Es evidente que el uso y la interpretación de mapas topográficos, aunque definitivamente menos reveladores que la interpretación de la foto aérea, son una parte esencial de los estudios geomorfológicos.

El reconocimiento y la clasificación de las formas del relieve que conducen a la elaboración de mapas, dentro de la orientación de los estudios ambientales; asocian al geomorfólogo con el examen de territorios, en el que la presencia de contextos físicos calificados y efectos desestabilizadores, provenientes de la presencia humana, precisan no solo la identificación de peligros naturales, sino la evaluación del potencial de riesgo que estos presentan. Por ello, en este contexto es pertinente preparar, por un lado, mapas que muestren los peligros naturales, con una leyenda que describa su nivel de riesgo, y por otro, incluir en ellos indicaciones sobre el daño potencial. Por la dimensión del mapa, la leyenda debe ser resumida, pero ampliada en el análisis escrito. Asimismo, deben elaborarse mapas de vulnerabilidad de los elementos en riesgo, esto es documentos en los que se indiquen el número de casas afectadas, los asentamientos, las otras estructuras y las demás actividades que puedan verse afectadas, en caso de un desastre de cierta magnitud.

Para la elaboración de estos mapas, se necesita contar con un panorama claro que abarque la extensión de los terrenos afectados, así como efectuar un inventario de medidas remediales o de mitigación. Esto puede resultar en transformaciones de la zona de peligro por el mejoramiento de los trabajos en los terrenos, tales como modificar las formas de ocupación de la tierra, las recomendaciones técnicas, los sistemas de alarma temprana y los planes de preparación contra desastres.

Tan pronto como los factores causales son conocidos y evaluados, los peligros naturales pueden ser agrupados en tres categorías principales:

- Peligros naturales de origen endógeno (inundación, sequía, deslizamientos etc.)
- Peligros naturales de origen exógeno (vulcanismo y sismicidad)
- Peligros naturales de origen antrópico (subsistencia, deslizamientos etc). Se debe enfatizar en que los peligros de origen endógeno y exógeno pueden agravarse por causas antrópicas.

El trabajo geomorfológico, en la rama ambiental y con especificidad en la zonificación de riesgo por amenazas naturales, trasciende la descripción fenomenológica propiamente dicha, para avanzar hacia la formulación de consideraciones tendientes no solo a la descripción de la forma y los procesos que la originan, sino que, al mismo tiempo, propone recomendaciones sobre la aptitud de esas tierras, y los usos potenciales que inviertan la situación de fragilidad. Es así que, cada unidad del terreno identificada y codificada puede corresponder a una, casi ilimitada, lista de atributos, de forma que su conocimiento llegue a ser muy detallado.

Además de identificar y clasificar la forma, la identificación del uso de la tierra es importante, ya que las estas coberturas indican factores, en pro o en contra, de la aptitud natural de los terrenos y, por ende, de los efectos generadores de disturbios que puedan observarse.

Adicionalmente, cada forma debe ser analizada de manera que pueda identificarse qué tipo de amenaza le afecta o, en su caso, qué clase de restricciones naturales presenta, de forma que los usos inapropiados agraven o inicien procesos desestabilizadores.

Sobre el andamiaje que se construye a partir de la identificación y caracterización de las formas presentes en un espacio determinado, son también complementos los mapas geológico, hidrogeológico, climático, edafológico, entre otros; los cuales completan la multiplicidad de variables físicas que se organizan al interior de un territorio dado. A partir de aquí, la sobreposición y la extrapolación, desde donde se dilucidan las afinidades o las incongruencias, tendientes al uso óptimo de los espacios, serán el derrotero que guíe las tareas de la planificación y de la ordenación futura del territorio.

Bibliografía

- Anderson, M. & Burt, P. (1990). *Geomorphological Techniques*. Edited by Andrew Goudie *Geomorphological techniques*. (Second Edition). London and New York: The British Geomorphological Research Group. p. 570
- Ayala, F. y Olcina, J. (2002). *Riesgos naturales. Conceptos Fundamentales y Clasificación*. Editores Ayala Carcedo, F.j.; Olcina Campos, J. *Riesgos Naturales*. Barcelona: Editorial Ariel. pp. 41-73

- George, P. (1974). *Diccionario de la Geografía*. Francia: Presses Universitaires de France.
- Arroyo, L. N. (2008). Caracterización geomorfológica, amenazas naturales y restricciones de uso de la tierra en Esparza, Costa Rica. Un ordenamiento territorial para el Plan Regulador del cantón. En: *Revista Geográfica de América Central* pp. 41- 31
- Bergoing, J. P. (1998). *Geomorfología de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial Librería Francesa.
- Lugo, J. (1988). *Elementos de geomorfología aplicada*. México: Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México.
- Universidad de Barcelona. (1983). Positivismo y Antipositivismo en la Ciencia Geográfica. El ejemplo de la Geomorfología. En: *Cuadernos Críticos de la Geografía Humana* pp.43-12
- Rodríguez, F. (2002). Metodología de la investigación histórica de desastres naturales. En: Editores Ayala Carcedo, F.j.; Olcina Campos, J. *Riesgos Naturales*. Barcelona: Editorial Ariel, pp. 1397-1405.
- Sala, S. y Batalla, R. (1996). *Teoría y métodos en geografía física*. España: Editorial Síntesis.
- Tricart, J. (1965). *Principes et méthodes de la géomorphologie*, Paris : Masson.
- Tricart, J. et Cailleux, A. (1967). *Le modelé des régions périglaciaires. Traité de géomorphologie*. (tomo II). Paris : SEDES.
- Tricart, J. et Cailleux, A. (1969). *Le modelé des régions sèches. Traité de géomorphologie*. (tome IV) Paris : SEDES.
- Tricart, J. (1972). La terre planète vivante. PUF, «le géographe» section dirigée par Pierre George, pp.202.
- Tricart, J. et Cailleux, A. (1974). *Le modelé des régions chaudes. Forêts et savanes. Traité de géomorphologie*. (Tome V). Paris : SEDES.
- Tricart, J. (1977). *Précis de géomorphologie.: géomorphologie dynamique générale. (Tome 2)* Paris : SEDES /CDU.
- Tricart, J. (1978). *Géomorphologie applicable*. Paris : Masson.
- Tricart, J. (1981). *Précis de géomorphologie. : géomorphologie climatique. (Tome 3)*. SEDES Paris: CDU.
- Tricart, J. et Cailleux, A. (1965). *Introduction à la géomorphologie climatique. Traité de géomorphologie*, (tome I). Paris: SEDES.

Luis Nelson Arroyo González. An historical look at geomorphology and its role as an applied science in the context of natural hazards and land use planning.

- Vanney, J. R. (1977). *Géomorphologie des plate-formes continentales*. Paris : Doin.
- Van Zuidam, R.(1985). *Aerial photointerpretation in terrain análisis and geomorphological mapping*. Smit Publishers, The Hague. The Netherlands.
- Verstappen, H. (1983). *Applied geomorphology, geomorphological surveys for environmental development*. Enschede, The Netherlands. ELSEVIER Amsterdam, 437 p. International Institute for Aerial Survey and Earth Science (I.T.C.), Enschede, The Netherlands. ELSEVIER Amsterdam. pp.437.