

UN CONTEXTO DE COMPLEJIDAD PARA LA EVOLUCIÓN DEL RELIEVE

Luis Alberto ARIAS LÓPEZ¹

RESUMEN

Los diferentes modelos conceptuales acerca de la evolución del relieve ponen el énfasis en aspectos muy diferentes: el carácter general y cíclico y determinístico característico en Davis, Penck y King; otros modelos subrayan la influencia fundamental de los materiales en la configuración de las geoformas, de tal manera que ésta última es un efecto de los primeros.

Con la geomorfología climática y de proceso emerge un nuevo paradigma: el relieve es resultante de una red de interrelaciones entre fuerzas, ambas perspectivas difieren básicamente en dos aspectos: el contexto Espacio-temporal de la reflexión y en las características de los patrones espaciales de las estructuras mórficas producidas.

Los desarrollos teóricos recientes acerca de los sistemas dinámicos no-lineales plantean el reto de construir el concepto de morfogénesis y visualizar el relieve como un sistema abierto energéticamente y cerrado organizativamente. En este nuevo marco, el entorno condiciona el comportamiento de los sistemas geomórficos pero la producción de estructuras mórficas (geoformas) es una propiedad intrínseca de éstos.

En este nuevo contexto persiste una discusión acerca del carácter global o zonal de las morfogénesis y de las estructuras producidas.

ABSTRACT

The theoretical models about landscape evolution emphasize different aspects: Davis', Penck's and King's models suppose "universality", "cyclicity" and "determinism" as basic elements; other models conceive "materials" (different lithologies) as explanatory element of geomorphic structures.

Climatic and process geomorphology postulate a new paradigm: landscape is view as "resultant" of a relationship network of "forces" or "processes". Both differs about the meaning of space temporal context of thin king, and spatial patters of produced morphic structures.

Recent advances on non-linear dynamic system, applied to the field of geomorphology, demand the need to construct he concept of "morphogenesis" as process system, behavior system and non as agreggate of basic process. In the new approach, the landscape can be visualized as "energetically open and organizationally ebozed ", which means that prduction of geomorphie structures (landforms) is a intrinsic property of geomorphie systems and non-an attribute of surrounding (climatic of tectonic regimes). On this context, debate about "universality" or "zonality" of morphogenesis and geomorphic structures continues with new elements.

¹ Instituto de Ciencias Naturales y Ecología-ICNE, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

debate about "universality" or "zonality" of morphogenesis and geomorphic structures continues with new elements.

INTRODUCCIÓN

La geomorfología tradicionalmente ha construido modelos conceptuales del relieve de carácter dinámico: El relieve cambia con el tiempo.

Davis concebía la evolución del relieve como una sucesión de ciclos repetitivos, cada uno de los cuales conducía a la formación de una penillanura, era un ciclo teleológico, es decir existía una determinación a priori respecto a las geoformas que se desarrollarían al final del ciclo.

Durante la primera mitad del presente siglo aparecen otros modelos que postulan mecanismos de funcionamiento diferentes pero que comparten las ideas de ciclo repetitivo y de una finalidad determinada a priori. Los modelos conceptuales planteados por Davis, Penck y King son en principio hipótesis morfológicas típicas: las configuraciones mórnicas resultantes son independientes o autónomas respecto de los materiales que las soportan y de las fuerzas y procesos que operan a su interior. Se trata, sin embargo, de una autonomía parcial porque cada ciclo de formación del relieve lo desencadena un evento específico de levantamiento tectónico. Sin embargo, una vez producido el levantamiento, el proceso morfogenético se autonomiza y con un intervalo temporal adecuado puede llegar a una configuración mórnicamente predeterminada endogénicamente, es decir el proceso tiene un atractor único al cual se orienta; esta tendencia hacia un atractor morfológico único sólo podrá ser interrumpida si durante el intervalo de tiempo para su concreción se interpone un episodio de levantamiento cuyo efecto es reiniciar de nuevo el ciclo.

La autonomía del proceso morfogenético y de las geoformas resultantes respecto de los materiales geológicos y de las condiciones climáticas fue sólo un planteamiento inicial en Davis porque posteriormente introdujo algunas modificaciones en el modelo del ciclo de erosión para "adaptarlo" a diferentes zonas climáticas (glacial, árido).

En estos modelos cíclicos de evolución del relieve, el levantamiento tectónico inicial, más que el carácter de una fuerza externa incidente tenía el carácter de una propiedad inherente y organizadora de un campo morfogenético.

En estos modelos existe otro aspecto común muy importante: son conceptualizaciones orientadas a establecer una teoría general de evolución del relieve, válida a diferentes escalas espaciales y su única restricción temporal era la del intervalo de tiempo necesario para que en la naturaleza se completara el ciclo.

Como alternativas a esta explicación de carácter morfológico se consolidarán dos modelos diferentes:

- Una explicación asocia las características específicas de las geoformas y de los relieves con propiedades inherentes a los materiales que las soportan.

Propiedades tales como la isotropía - anisotropía de los materiales; su carácter frágil o dúctil, las deformaciones heredadas (fracturación, plegamientos, etc.), las propiedades geomecánicas de las rocas o de los respectivos saprolitos son los elementos que entran a ser acogidos como las causas que dan cuenta de las configuraciones mórficas del relieve. Un ejemplo pertinente de este punto de vista es el referente paradigmático de la foto - interpretación geológica: la supuesta existencia de una relación determinística causa - efecto entre las características físicas de las rocas y los saprolitos y la configuración morfológica de las redes de drenaje. En este contexto, parece existir “un axioma” (?) que asocia el carácter isotrópico de las propiedades de los materiales geológicos con las redes de drenaje de tipo dendrítico que se encajan en ellos; sin embargo, es una relación supuesta, es decir, es un mito epistemológico presente en el discurso geomorfológico.

Este mito se ha ampliado aún más y se concreta en una geomorfología litológica que hace entrar a depender de manera determinística a las geoformas de los materiales subyacentes. En esta perspectiva las rocas y los saprolitos, más que material de soporte a las geoformas le dan conformación (forma) al relieve. La fuente generadora y explicativa de la geoforma se asienta en los materiales.

La conclusión extrema de este discurso es la de considerar al relieve como “un calco” fiel de las litologías y estructuras geológicas subyacentes y a la evolución del relieve como un proceso persistente de adaptación a las estructuras del substrato; en este último caso, la morfogénesis se visualiza como un proceso de explotación mórfica de los contrastes de resistencia de los materiales subyacentes.

- La otra alternativa hace depender las formas del relieve de un conjunto de fuerzas y procesos que actúan sobre la superficie de La Tierra, las cuales se reúnen en dos grandes grupos: fuerzas y procesos endógenos o de carácter geológico y fuerzas y procesos exógenos o de carácter climático.

En esta perspectiva, el relieve subaéreo se asocia metafóricamente con una membrana separadora o interfase entre litosfera y atmósfera, sobre la cual actúan simultáneamente fuerzas y procesos endógenos y exógenos.

En estos modelos las geoformas y relieves son el producto de “las soluciones”, “balances” o “configuraciones” que toma un campo de fuerzas y procesos.

La geomorfología climática y la geomorfología de procesos, aunque muy diferentes entre sí, comparten este contexto general: las geoformas se explican por las fuerzas y procesos que actúan sobre ellas. Entre ambas perspectivas las diferencias se encuentran en la conceptualización acerca del sistema de procesos en un contexto espacio-temporal.

La geomorfología climática emerge cuestionando la idea de evolución general y planteando en alternativa la existencia de diversas morfogénesis y de modelados específicos. En este contexto se habla de evoluciones diversas (en plural), inscritas en unas condiciones originarias singulares impuestas por una zonalidad climática del globo terrestre. Se asigna un gran significado a la escala espacial como elemento para dar cuenta de la diversidad morfológica de la superficie terrestre.

Igualmente la escala temporal entra en escena a través del concepto de una sucesión de cambios ambientales que se asocian con cambios climáticos globales.

La estructura del relieve se asocia metafóricamente con la idea de palimpsesto: el relieve de cada región es un palimpsesto de eventos tectónicos y climáticos cuyo testimonio perdurable (registro) es un conjunto de morfologías distintivas.

Con esta imagen del relieve, la investigación de su evolución se orienta a identificar las generaciones de relieve existentes en una región a través de levantar la “columna estratigráfica” morfológica.

Sin embargo, las condiciones originarias singulares en que se inscribe la evolución del relieve -un régimen tectónico y climático - se retoman con un determinismo absoluto. Se desconoce que el estreñimiento que imponen estos factores del entorno es relativo, que dentro de ese marco existen márgenes de libertad para la morfogénesis y para sus productos, los modelados. Se maneja un concepto de morfogénesis que sólo permite unos trabajos de modelado predeterminados.

Hay sin embargo dos elementos importantes en esta conceptualización de la geomorfología climática que sirven para abordar una explicación a la diversidad del relieve terrestre: morfogénesis con contextos espaciales específicos de validez y el concepto de morfogénesis diferentes, sucesivas en el tiempo, para una región dada. Se trata de especificidades espacio-temporales que no deben confundirse con determinismos rígidos.

El problema de la relación morfogénesis - modelado lo retoma la geomorfología de procesos en términos de la relación “proceso - forma”.

Este tipo de estudios parten de una afirmación categórica, la forma solo puede comprenderse si se conoce el proceso que la genera; esta premisa tiene consecuencias profundas en la manera como se entra a abordar el estudio del relieve. Para estos estudios, el énfasis en el funcionamiento los lleva a sustentar todas sus construcciones conceptuales sobre la base de registros instrumentales cuantitativos de procesos básicos (producción de sedimentos en un segmento de vertiente, series de registros de caudales y de transporte de sedimentos, etc.).

El concepto de morfogénesis —que hace referencia al funcionamiento integral del relieve— se reduce a una agregación de procesos básicos individualizados.

La reflexión en torno a la evolución del relieve, que tradicionalmente se inscribía en una macroescala espacio - temporal se desplaza a la minucia de la microescala espacial y a la temporalidad del intervalo de los periodos de registro (10 - 20 años y a lo sumo 50 - 100 años).

Sin embargo, las reflexiones funcionales acerca de la relación “proceso - forma” han ido construyendo nuevos conceptos e incorporando otros provenientes de diferentes disciplinas: Desde los conceptos iniciales de magnitud - frecuencia - media - periodo de recurrencia, a través de los conceptos de histéresis, retroalimentación hasta desembocar en el concepto de “respuesta compleja”. Esta sucesión de conceptos buscan adaptar la información de los registros instrumentales a una nueva realidad: el tránsito entre proceso y forma no es el de una causalidad lineal simple, tipo causa - efecto.

La entrada de un pulso de perturbación a una cuenca (v.gr: una precipitación muy intensa y / o duradera) puede producir trayectorias de cambio muy diversas en el sistema y no se puede predecir el tipo de respuesta porque ésta no está determinada a priori o porque existen varias configuraciones factibles, todas ellas determinísticas.

Con todas sus limitaciones, los estudios funcionales han puesto de manifiesto el carácter probabilístico de la relación proceso - forma cuando se analiza en el contexto de la microescala espacio - temporal.

Emergen así en la reflexión acerca de la evolución del relieve, conceptualizaciones disyuntivas, inscritas en contextos escalares polarizados.

El reto para la geomorfología es encontrar modelos conceptuales que permitan transitar de la escala global, a la mesoescala y a la microescala y viceversa. Los estudios del relieve se pueden abordar desde la escala de los metros cuadrados hasta la escala de todo el globo y en una escala temporal, los cambios morfológicos pueden ocurrir desde la escala de los segundos hasta la escala de los 10^6 - 10^8 años.

La incapacidad para religar las informaciones recogidas en diferentes contextos escalares espacio - temporales ha conducido a que “las escuelas” y “tendencias” en geomorfología tiendan a consolidarse como geomorfologías diferentes:

- Una geomorfología funcionalista que construye un sistema conceptual del relieve desde la microescala.
- Una geomorfología climatogenética que construye su discurso desde un punto de vista de la escala global.

El desarrollo paralelo e independiente de ambas perspectivas, más que reflejar una riqueza de opciones explicativas expresa la incapacidad para encontrar contextos conceptuales adecuados para transitar a través de los diferentes marcos escalares.

Una reflexión retrospectiva de los diferentes modelos de la evolución del relieve pone en evidencia que ellos han empleado los referentes clásicos que dan cuenta de las formas. Para las explicaciones que dan una importancia crucial a los materiales del sustrato, la geoforma es un atributo secundario que reside en las características de los materiales. Otras explicaciones de la forma hacen depender esta de factores, fuerzas y procesos con asiento en el entorno de los sistemas geomorfológicos; en estos casos la estructura física y el comportamiento de los relieves son fenómenos impuestos desde el entorno, un entorno tectónico y / o climático.

La idea de que el proceso morfogénico, es decir, la producción de geoformas sea una propiedad autónoma de los sistemas geomórficos sólo se encuentra muy parcialmente desarrollada en los modelos cíclicos de Davis, Penck y King.

En cada uno de estos modelos hay algunos elementos de explicación que encuentran corroboración empírica:

- La influencia de las variaciones litológicas del sustrato en la estructura física del relieve es muy evidente en los llamados “relieves estructurales”. Esta influencia ha llevado a Scheidegger (1987) a postular la existencia de “un principio de prediseño tectónico” como uno de los principios fundamentales de evolución del relieve.
- La existencia de geoformas características asociables con ciertos tipos de entornos climáticos y / o tectónicos es otro hecho incuestionable. La existencia de zonalidad mórfica en el relieve es un hecho que no se cuestiona aunque las explicaciones del fenómeno sean diferentes.

Sin embargo las explicaciones propuestas son insuficientes cuando se levantan como referentes absolutos (paradigmáticos) para dar cuenta de toda la diversidad mórfica del relieve: En estas circunstancias, las explicaciones aparecen como aportando algunos elementos “de verdad”

Las preocupaciones recientes por encontrar una explicación al desarrollo de las formas (bioformas, geoformas, formas sociales, etc.), especialmente por parte de las matemáticas de la complejidad y su trabajo alrededor de los “sistemas complejos”, abren un nuevo campo de reflexión. Los nuevos conceptos desde la teoría de los sistemas dinámicos no lineales se convierten en metáforas y analogías útiles para explorar el desarrollo y configuración del relieve. Conceptos tales como: auto - organización, atractor, ciclo repetitivo, retroalimentación, comportamiento, proceso, estructura, sistema energéticamente abierto y organizativamente cerrado, etc. se convierten en referentes clave para construir los contenidos del concepto central en geomorfología: la morfogénesis. Los modelos descritos anteriormente se sustentan en apreciaciones parciales del concepto de morfogénesis. La geomorfología como ciencia interesada en encontrar explicaciones a la génesis de las geoformas no cuenta con unos fundamentos teóricos sólidos que le permitan construir el concepto de morfogénesis desde una perspectiva sistémica, es decir, el comportamiento morfogénico y la producción de geoformas como propiedades sistémicas emergentes en los diferentes niveles jerárquicos del relieve.

La situación actual no se podría caracterizar como de ausencia de información sino como de ausencia de ideas - guía para darle cuerpo al bagaje informático disponible.

EL ENTORNO DE LOS SISTEMAS GEOMÓRFICOS

Como sistema dinámico, el relieve se puede visualizar como una membrana o interfase separadora donde se presentan:

- Confluencias de fuerzas, efectos de fuerzas y energías cuyas fuentes de origen se asientan en su entorno: endógenas, con asiento en la litosfera y el manto; exógenas, con la energía solar como fuente alimentadora de los procesos atmosféricos.
- Procesos de transformación energética .
- Una entrada, circulación y salida continua de masas y energía; en este sentido todo sistema geomórfico es un sistema abierto. El flujo energético continuo a través del sistema se organiza como secuencias interrelacionadas de procesos de superficie que configuran la dinámica propia de cada sistema geomórfico.

Igualmente el relieve, desde una perspectiva espacio temporal es “una parte” integrada de un sistema jerárquicamente superior y más complejo: el sistema natural o ecosistema. Como “parte” del “todo” natural, la dinámica del relieve entreteje una red de interacciones e interrelaciones con otras componentes (atmósfera, hidrosfera, biosfera, esfera de la descomposición fisico-química de las rocas, pedosfera y litosfera)

La estructura y dinámica del manto terrestre se interpreta actualmente a través de celdas de convección, un mecanismo de enfriamiento que permite la disipación del calor hacia la litosfera y hacia la superficie terrestre a lo largo de las dorsales oceánicas y los “puntos calientes” (un vulcanismo de fuentes profundas).

Esta dinámica del manto transfiere su influencia a la corteza y a la superficie terrestre dando origen a la distribución global de cubetas oceánicas, continentes, cinturones montañosos e induciendo procesos de deriva continental, levantamientos y subsidencias tectónicas.

En el otro extremo, se tienen unas condiciones meteorológicas altamente cambiantes, con variaciones hora a hora, día a día , estacionalmente, año a año; una variación amplia que se promedia bajo el concepto de condiciones climáticas. Las condiciones climáticas presentan una distribución espacial característica de zonalidad latitudinal y en temporalidades superiores a los 10^3 años varían considerablemente (cambios climáticos).

De esta manera las condiciones originarias y los condicionamientos para la formación y evolución de los relieves se enmarcan en un contexto de confluencia de dinámicas endógenas y exógenas que hoy día se consideran como operando independientemente y cuyos efectos

en la superficie terrestre dan pie para postular un principio de antagonismo en la evolución del relieve (Scheidegger, 1987).

Según este principio, el relieve es un resultado instantáneo de la consecuencia de un levantamiento tectónico activo y de la degradación (denudación, incisión) producida por los procesos de superficie.

En un sentido más general, Scheidegger (1987), plantea que el relieve “representa el equilibrio instantáneo en la interacción de dos procesos antagónicos: los procesos endogenéticos y los procesos exogenéticos”

El patrón de comportamiento de estas fuerzas en la superficie terrestre es muy complejo: la actividad tectónica de levantamientos y subsidencias es episódica, es decir, discontinua. La imagen que hoy día se tiene de la actividad tectónica es la de períodos cortos de actividad intensa separados por periodos largos de calma tectónica y cada uno de ellos inscritos en una temporalidad geológica.

La distribución espacial de las actividades tectónica y volcánica en la superficie terrestre, aunque no se pueden caracterizar como fenómeno al azar, sí presenta una gran irregularidad.

Con base en los resultados de los estudios geológicos recientes puede aún considerarse que el comportamiento endógeno (vulcanismo, tectonismo y otros procesos geológicos fundamentales) es un comportamiento no periódico espacial y temporalmente.

En contraposición, la dinámica climática es continua, su distribución espacial presenta una gran regularidad lo cual contrasta con la irregularidad de los cambios climáticos en un contexto temporal macroescalar.

De esta manera, las condiciones del contexto para la formación del relieve son complejas: condiciones originales singulares debida a múltiples configuraciones factibles que pueden emerger en la interrelación entre comportamientos endógenos y exógenos muy variados. Todas las combinaciones factibles tienen un rasgo común, son a la vez determinísticas (actúan como constreñimiento sobre el sistema geomórfico) y dan cabida a lo probabilístico. El desarrollo posterior de asociaciones de geoformas sobre una superficie de erosión (“etchplain”) entrará a depender de si ello ocurre en un periodo de calma tectónica o en otro de levantamiento y en este último caso, también dependerá de la intensidad y magnitud desplegada, pero igual y simultáneamente dependerá del marco climático vigente a ese momento. No es lo mismo un levantamiento de intensidad moderada de una superficie de erosión en el marco de un clima húmedo que en otro de un clima seco. El relieve de los altiplanos de la Cordillera Central de Antioquia muestran evidencias que la intensidad del levantamiento, en un contexto de climas húmedos tiene influencia sobre el comportamiento geomorfológico y las estructuras (geoformas) producidas.

Así, las condiciones originales singulares para la evolución del relieve dan cabida a la vez a los determinismos persistentes y al “alea”.

En la misma situación primigenia, la complejidad está presente en los procesos de morfogénesis y en sus modelados, una complejidad que es la expresión de la amplia diversidad de interacciones entre efectos geológicos y climáticos y sus implicaciones sobre el comportamiento geomórfico y la producción de geoformas.

Las condiciones primigenias de contexto (entorno) en que se configura un sistema geomórfico presentan comportamiento sistémico, es decir, es una propiedad emergente de interacciones geológicas y climáticas que deviene en interrelación organizativa característica.

La reflexión geomorfológica clásica se ha orientado en otra dirección, planteando de manera separada las influencias de las dinámicas geológicas y climáticas sobre el comportamiento y la producción de geoformas en el relieve.

De esta manera, el mosaico de relieves en las cadenas montañosas tiende a explicarse con argumentos referidos a la estructura geológica (diversidad litológica, la red de fallas principales y su actividad reciente); igualmente en las regiones bajas se tiende a presentar argumentos referidos a procesos exogénicos.

Más importante aún, muchos discursos geomorfológicos tienden a considerar que estas influencias del entorno determinan absolutamente el comportamiento y producción de geoformas en los sistemas geomórficos, estableciendo una especie de dicotomía entre geoformas tectónicas y geoformas exógenas.

La crítica sistémica apunta en síntesis a:

-Indicar que la situación de entorno en que se inscribe la génesis del relieve es propiedad emergente sistémica.

-Mostrar que tales condiciones actúan como condicionamiento relativo, son fuente de determinismos pero permiten despliegues diversos de comportamientos y de producción de estructuras mórficas.

El comportamiento y desarrollo de geoformas en el relieve se mantiene y renueva continuamente a través de las interacciones con las condiciones dinámicas del entorno pero ambas — comportamiento y producción de geoformas— son propiedades autónomas del sistema, es decir, no son impuestas desde su exterior.

LA ESTRUCTURA DEL RELIEVE

El relieve se presenta como un mosaico de geoformas, mosaico que se caracteriza por una amplia diversidad y por “unas visibilidades” muy diferentes de las distintas unidades.

En un sentido más riguroso, **diversidad y visibilidad** pueden interpretarse en términos de generaciones de morfogénesis (o generaciones de relieve) y de unas relaciones estructurales (relaciones espaciales en la distribución de las formas).

Los conceptos de generaciones de relieve y de un orden estructurante compaginan con la metáfora que asocia el relieve a un palimpsesto morfológico.

El orden estructurante de un relieve se asocia con su distribución espacial de geoformas; por ejemplo, las geoformas producidas por deslizamiento son de dos tipos: segmentos cóncavos tanto en la dirección como en la inclinación de la vertiente, para el caso de deslizamientos rotacionales y un segmento de vertiente rectilínea o planoconvexa para la zona de acumulación. Ambas geoformas constituyen elementos mórficos de segundo orden cuando se desarrollan en las vertientes de una colina convexa, la cual constituye un elemento de primer orden, en este ejemplo hipotético.

El relieve se presenta así como un producto de “eventos” morfogénicos sucesivos, de naturaleza y eficiencias muy diversas y en el cual el concepto de sucesivos involucra simultáneamente determinismos geológicos y climáticos y situaciones de azar en estas mismas condiciones.

La comprensión de la estructura del relieve como conjunto de geoformas involucra:

- Un ordenamiento cronológico y genético.
- Un ordenamiento estructural que permita identificar relieves de primer, segundo y tercer orden.

Los relieves de primer orden son el producto de morfogénesis radicales que rompen y destruyen estructuras morfológicas preexistentes y construyen nuevos ordenamientos, es decir, dejan huella profunda y persistente en el palimpsesto morfológico.

Los relieves de primer orden son el testimonio de rupturas profundas en el proceso de transformaciones del paisaje, es decir, verdaderos puntos de bifurcación.

En el relieve de la región de Antioquia estos hitos de primer orden en la evolución del relieve están representados por los altiplanos, los escarpes regionales y los cañones profundos. Estos tres elementos signan la identidad y visibilidad del relieve en la zona central de Antioquia. (Arias, 1995)

Identidad y visibilidad en un contexto regional son atributos predominantes en los relieves de primer orden; frente a estos, existen otros tipos de identidades y visibilidades asociadas con geoformas que tienen el atributo de ser únicas, excepcionales o raras. En los mismos altiplanos antioqueños los peñoles (inselbergs) marcan identidades y referentes del relieve, aunque su ocupación areal sea mínima.

Las geoformas de 2° , 3° y más orden introducen un enriquecimiento de modelados (“retoques”), alimentan una diversidad secundaria, sin que se pierda la identidad de las estructuras morfológicas primarias. Los altiplanos han estado sometidos a una disección

moderada y muy densa que los transformó en altiplanos colinados; igualmente se han encajado en ellos diversos tipos de valles.

Sin embargo, las colinas y los valles allí encajados no consiguen borrar la estructura de altiplano.

Una situación muy diferente ocurre cuando entra en escena una nueva morfogénesis con capacidad para consolidar una nueva generación de relieve de primer orden. Los cañones profundos (Porce, Nus, Nechí y Medellín) se consolidan destruyendo corredores de altiplano y su consolidación segmenta la continuidad preexistente de los altiplanos.

El cañón del río Nechí gana identidad y avanza a expensas de una destrucción total del altiplano de Santa Rosa en el sector de Yarumal - Campamento.

Hay así en la estructura del relieve elementos para visualizar el tiempo geomorfológico como un proceso de creaciones originales y de modificaciones secundarias. Toda construcción mórfica de primer orden emerge con la destrucción de las estructuras preexistentes allí donde aquella se consolida. En otros términos, el cañón profundo es incompatible con el altiplano.

En este sentido el tiempo geomorfológico es creación por destrucción y no un simple intervalo para concretar ciclos evolutivos pre-fijados en los procesos naturales.

La morfogénesis tiene la “gran virtud” de combinar dialógicamente “determinismos” y “alea” del cual destilan propiedades emergentes con ricos contenidos morfológicos; sólo el esquematismo de un pensamiento analítico nos impide pensar como viable que los ríos desplieguen trabajos morfológicos de naturaleza bien diferentes y que produzcan estructuras contrastantes.

De lo anterior queda claro que el concepto de **estructura del relieve** alberga dos significados diferentes pero íntimamente relacionados:

- Estructura como conjunto de geoformas allí presentes; la estructura alberga un espectro variado de temporalidades, es decir, geoformas y subrelieves de naturaleza y edad diferente. La estructura alberga igualmente un orden espacial, materializado en la manera como se disponen las diferentes geoformas en una región específica. En este sentido estructura significa mosaico de formas concretas.
- El otro significado es dinámico, significa comportamiento, expresable como un sistema de procesos de superficie. Este significado se concreta en el hecho de que el relieve expresa una sucesión de cambios en su comportamiento y en la producción de geoformas. En este sentido, la estructura del relieve es también la historia de su desarrollo, de sus cambios precedentes.

En síntesis, la estructura del relieve esta constituida por una sucesión de cambios en su comportamiento, donde cada comportamiento es productor de geoformas.

MORFOGÉNESIS Y TEORÍA MORFOLÓGICA

La geomorfología como ciencia que busca describir y explicar el desarrollo (surgimiento, evolución y desaparición) de las formas del relieve se encuentra abocada a la construcción de un referente teórico acerca de la gestación de las formas físicas. En este sentido, el reto es el de construir el concepto de morfogénesis.

Podría abordarse la discusión identificando las analogías y diferencias que existen entre procesos morfogénicos que conducen a la configuración de formas orgánicas (organismos) y formas físicas (geoformas).

La teoría estructuralista de la evolución cuestiona que en la información genética presente en el núcleo celular resida un programa morfológico lineal, que permita llevar del embrión al individuo adulto (Goodwin, 1998). Para Goodwin las propiedades morfológicas de los organismos no se encuentran en la información contenida en los genes.

El reconocimiento de formas biológicas y geoformas en el relieve plantea de entrada la discusión en torno a la existencia o no de una teoría básica común acerca de la morfogénesis.

¿Subyacen a la gestación de ambas formas, pautas de desarrollo comunes?. ¿Podrá plantearse que el proceso de embriogénesis y el proceso de modelado del relieve presentan pautas de comportamiento comunes?.

El planteamiento de Goodwin en torno a la gestación de las formas biológicas cuestiona dos elementos:

- La información genética es acertada para explicar las diferencias entre sistemas pero no puede explicar la morfología del sistema (organismo). El problema central del desarrollo consiste en saber como cada tipo de organismo logra la forma respectiva. “El plan que confiere la forma, logos o gestalt de los organismos vertebrados no ha sido todavía comprendido, ni explicado por la genética moderna” (Aranda, 1997,pag 78).
- La forma orgánica no es el “simple” producto histórico de un azar de innovaciones y selecciones. La teoría morfológica no tiene tanto que ver con azar sino con propiedades emergentes que se fundamentan en distribuciones e interacciones espaciales.

La reflexión acerca del proceso morfogénico, tomando como referente las formas biológicas (organismos), remite a dos elementos:

- La persistencia en el tiempo de “formas típicas” o arquetipos.

- Las similitudes y diferencias entre diferentes arquetipos plantean el tipo de relaciones causales entre ellos, especialmente que algunos arquetipos sean el producto de cambios morfológicos a partir de otros.

Es decir, la reflexión morfogénica remite de entrada a los conceptos de **persistencia y cambio**. La teoría morfogénica para las formas biológicas debe dar cuenta de dos situaciones antagónicas y complementarias: la persistencia de las formas y el cambio morfológico.

En el caso de las formas del relieve, persistencia y cambio no pueden abordarse como procesos exclusivamente intrínsecos a la dinámica del sistema-relieve; en este caso es necesario introducir un marco histórico de relaciones entre el relieve y su entorno (un entorno de dinámica ambiental signado por cambios climáticos y geológicos).

La producción de geoformas en el relieve es la resultante de confluencia de procesos endógenos (dinámica interna del relieve) y de cambios en estos, en respuesta a cambios estructurales en la dinámica de su entorno (principalmente cambios climáticos y / o tectónicos).

La producción de geoformas es una propiedad intrínseca del sistema “relieve” ; esta producción presenta dos características:

- **Autorenovación de geoformas** : La geoforma se desarrolla, conservando su configuración característica. En el relieve montañoso activo, en los cañones ramificados de las cuencas de los ríos Nechí, Cauca y Arma, se presenta un mosaico de cañones en V de diferentes dimensiones; en cada ramal de la red de drenaje, se repite el mismo patrón geomórfico, configurando una estructura fractal.
- **Creación de nuevas estructuras mórficas**: Esta producción, de carácter innovador es igualmente una propiedad intrínseca del relieve. La creación puede ser consecuencia de influencias desde el entorno geológico - climático o puede ser el resultado de la dinámica propia del sistema. Sin embargo es necesario tener claro que el comportamiento morfogénico es una propiedad característica del sistema y no de su respectivo entorno; este último actúa como factor desencadenador pero no determina las trayectorias del cambio ni las geoformas resultantes.

La creación de nuevas estructuras es un proceso abierto a las influencias desde el entorno, las cuales se pueden asociar con nuevos marcos potenciales de entrada, tránsito y salida de energía del sistema. La configuración de los procesos de trayectoria energética a través del sistema y la producción de geoformas asociadas son características propias y de identidad de los diversos sistemas geomórficos.

El proceso morfogenético a nivel biológico reconoce la existencia de “formas típicas” o arquetipos estructurales comunes a grandes grupos de organismos. En la génesis del relieve la gestación de arquetipos o “formas típicas” no es tan obvia. Las escuelas cíclicas en

geomorfología postularon hipótesis acerca de configuraciones morfológicas teleológicas, tales como las penillanuras y pedillanuras, morfológicamente similares pero que difieren en el tipo de proceso que las modela.

En la actualidad la reflexión geomorfológica se encuentra en una situación paradójica respecto a la idea de "arquetipos". desecha la idea de configuraciones morfológicas finalistas por muchas razones - la dinámica natural es lo suficientemente cambiante como para pensar que cualquier configuración que se inicia, alcance su "fin", pero igualmente no concibe el relieve como la resultante de un proceso caótico. El relieve presenta configuraciones que poseen distribuciones regulares (regularidades morfológicas o patrones); sin embargo no consigue estructurar un discurso que de cuenta de estas regularidades.

El equivalente al concepto de "arquetipo" en las formas biológicas podría estar en:

- El concepto de "forma característica" de Strahler, el cual sería como una especie de atractor morfológico de los procesos morfogenéticos.
- En el concepto de "relieve zonal" de Budel (1982), el cual es el resultado morfológico distintivo y característico de la complejidad de un sistema morfogénico, complejidad entendida como una configuración distintiva de "un sistema de procesos", emergente en unas condiciones climáticas específicas.

Ambos conceptos difieren radicalmente entre sí: la forma característica de Strahler es una configuración morfológica universal (válida para toda la superficie terrestre subaérea) porque es la resultante de procesos generales. En esto, guarda relaciones de similitud con el concepto de "arquetipo"

El concepto de relieve zonal es igualmente la resultante morfológica (forma) de un sistema de procesos o sistema morfogenético pero este último no es universal sino zonal, es decir, tiene una delimitación espacio - temporal específica, que permite sustentar el concepto de zonas morfoclimáticas. En este caso la estructura del relieve es siempre de carácter específico, la estructura es la concreción, "aquí y ahora" de un patrón de organización genérico del sistema geomórfico

El concepto de zonas morfoclimáticas o dominios tectono-climáticos representan o plantean así unos límites espacio-temporales a la producción de formas. No hay una producción genérica de formas; el proceso de producción y las geoformas producidas son fenómenos específicos, son la concretización en un espacio y un tiempo del patrón de organización del relieve

En este sentido, la teoría morfológica del relieve tiene su soporte principal en el concepto de zonalidad.

El debate en biología, entre la visión reduccionista neodarwiniana (los genes) y la visión organicista (el organismo) se traduce en la geomorfología en otros términos: aquí no sólo existe la visión de reducir el sistema morfogenético a una agrupación de procesos básicos aislables sino que existe otra confrontación igualmente importante, si la estructura del relieve es universal o es zonal

Las disciplinas morfológicas estudian fenómenos que representan un continuo espacio-temporal; en el caso de la geomorfología el continuo está dado por sistemas de procesos y por conjuntos de geoformas. La disciplina se encarga de reconocer y describir elementos recurrentes y estables (identidad de la dinámica; geoformas producidas; patrones morfológicos). “Según Thom, el propósito de una teoría morfológica consiste en precisar los agregados espacio-temporales que pueden ser conformados por tales elementos, de manera estable y repetitiva” (Aranda, 1997, pág. 109)

Es fácil equiparar la zonalidad del relieve con los agregados espacio-temporales estables y repetitivos que plantea Thom; en este caso el sistema morfogenético se puede concebir como un sistema dinámico complejo adaptativo en el cual “el espacio de las posibilidades morfológicas” presenta varios atractores que corresponderían con las diferentes configuraciones zonales del relieve.

La teoría geomorfológica en torno a la génesis y evolución del relieve se ha inscrito clásicamente en dos contextos

- Explicar la génesis de las formas como efecto de procesos y fuerzas externas. Fuerzas y procesos de carácter geológico y / o climático son los responsables de la configuración mórfica del relieve. En este caso, el relieve como tal, es un ámbito pasivo sometido al accionar activo de un entorno dinámico, activo y modelador. La fuente explicativa del relieve no se encuentra en este sino en las vicisitudes de los cambios geológicos y / o climáticos que ocurren en su entorno. Los impulsores de la nueva teoría morfológicas (o de la complejidad) designan a estas explicaciones como “**reduccionismo externo**”.
- La otra perspectiva para explicar la génesis de las formas se adentra en el funcionamiento interno del relieve, es decir, viaja a la búsqueda de factores internos de explicación.

La búsqueda de explicaciones internas al sistema - relieve se encuentra con el problema de seleccionar el nivel al cual reposan los factores que darán cuenta de la génesis de las formas.

En la medida que el modelado del relieve es ejercido por un sistema de procesos, la explicación del como funciona el relieve se encuentra inicialmente con la disyuntiva de comprender dicho funcionamiento de manera integral o como agrupación de los funcionamientos de “procesos básicos” (procesos elementales).

La incertidumbre respecto al nivel organizativo donde se asientan los factores “causales” que dan cuenta de los modelados conducen a las corrientes funcionalistas a fragmentar más y más el concepto de procesos básicos. Para algunos investigadores el nivel de estudio se

encuentra en la cuenca, para otros a nivel de un segmento de lecho y de vertiente, para otros a nivel de la hidrodinámica del flujo y de las propiedades geomecánicas de los materiales que conforman las vertientes, para otros a nivel de las composiciones mineralógicas o químicas de los materiales.

Según Aranda (1997) este **reduccionismo interno** “va a la par con un mito epistemológico de gran influencia en la mayoría de las ciencias naturales que presupone el carácter fundamental de lo infinitamente pequeño en cualquier sistema o proceso” (op.cit, pág. 121).

La teoría geomorfológica debería por lo tanto describir y explicar las geoformas en el mismo nivel de organización y complejidad donde se manifiestan.

El postulado básico de las teorías morfológicas contemporáneas (la complejidad, la teoría de las catástrofes, etc.) apunta a que “las formas se consideren como realidades autónomas, independientes de la naturaleza de las fuerzas que las originan” (Aranda, 1997, pág. 124), independencia del sistema respecto de su entorno que significa autonomía dinámica y de producción de geoformas pero que en ningún caso se puede confundir con un supuesto aislamiento del entorno.

Frente a una dependencia absoluta de las formas respecto de la naturaleza, magnitud, intensidad y frecuencia de las fuerzas y procesos que operan en el entorno aquí se levanta la autonomía de la forma para desplegarse.

La situación es un tanto paradójica: la geomorfología de procesos pretendía traducir la relación causa - efecto al interior de fenómenos aislados en términos de la relación proceso → forma. Sin embargo, los resultados de muchas investigaciones indican que no se trata de una relación determinística, que una sucesión de eventos registrados puede producir diversos y contrastantes productos mórfoicos (geoformas); las geoformas producidas por procesos aislados con registro instrumental en periodos de tiempo corto son generalmente configuraciones morfológicas transitorias. La idea de que la forma se explica por el proceso que la modela ha operado en geomorfología más como “una metáfora referente” que como una tesis sustentada en investigaciones de campo. Al menos los procesos básicos aislables descritos no consiguen dar cuenta de las configuraciones morfológicas de los relieves específicos.

Frente a la incapacidad de unos procesos básicos aislados para dar cuenta de los relieves, la teoría de las catástrofes de René Thom parte del postulado de que se puede comprender un proceso morfogenético en particular sin tener que recurrir a las propiedades especiales del sustrato que sustenta dicha morfología o a la naturaleza de las fuerzas que actúan sobre la forma estudiada.

LOS MITOS EN GEOMORFOLOGÍA

Los nuevos referentes del pensamiento complejo permiten interrogarse acerca de la génesis de las geoformas, es decir la geomorfología se ve abocada a construir el concepto de morfogénesis o sistema morfogenético.

La discusión acerca de la génesis de las geoformas se inscribe en tres contextos diferentes:

- La fuente de la forma reside en las propiedades de los materiales que le dan soporte.
- Reside en las fuerzas y procesos que desde el entorno actúan sobre el relieve.
- O existe una autonomía de la forma, la cual es el producto de un proceso morfogénico que responde a procesos geométricos y topológicos independientes de los materiales y las fuerzas.

La primera perspectiva (la preponderancia del material en la configuración de la forma) y la última (la independencia de las pautas morfológicas) tienden a ser perspectivas ajenas a la explicaciones históricas.

En la perspectiva que asigna una importancia a los procesos que actúan sobre la forma se puede distinguir entre funcionalismo que se centra en la dinámica actual y sus posibilidades para hacer prospectiva y los estudios históricos, que en un contexto de tiempo geológico propugnan por reconstruir (retrospectiva) la historia del proceso morfogénico.

BIBLIOGRAFÍA

ARANDA, R. (1997). Complejidad y forma. 1ª edición Fondo de Cultura, México.

ARIAS, L. A. (1995). El Relieve de la zona central de Antioquia: un palimpsesto de eventos tectónicos y climáticos. *Revista Facultad de Ingeniería* 10:9-24

BUDEL, J. (1982). *Climatic Geomorphology*. Princeton University Press, Princeton New Jersey (translated by Leonore Fischer and Detlef busche).

GOODWIN, B (1998) *Las manchas del Leopardo. La evolución de la complejidad*. 1ª edición. Tusquets Editores, Barcelona.

SCHEIDEGGER, A.E. (1987). The fundamental principles of landscape Evolution. *Catena Supplement* 10: 199-210

