

La estructura del relieve como patrón principal de los estudios de impacto ambiental

REINALDO BÖRGEL OLIVARES¹

Es curioso destacar en Chile, la carencia de estudios sistemáticos sobre el relieve y que permitan a los usuarios una información actualizada sobre dicha evolución. En este país, como en el resto de la cadena andina del Pacífico, los trazos mayores del relieve, responden a recientes movimientos orogénicos y de epirogénesis.

No hay cartografía detallada y sólo algunas aisladas cartas geológicas, producto de relevamientos mineros localizados, permiten destacar la evolución local del relieve. En el nivel académico se carece de este tipo de cartografía, lo que hace imposible practicar reconocimiento detallado del territorio nacional.

Lo anterior perjudica los estudios de impacto ambiental, por cuanto se desconoce uno de los factores iniciales del proceso natural mediante el cual evoluciona el relieve.

Para otras regiones del planeta la situación es diferente, en el caso de Francia, a mediados del siglo XX este país disponía de la carta a escala 1:80.000, donde se indican aspectos tan importantes del relieve como la estructura, incluyendo estratigrafía, litología y tectónica del lugar, orden e identidad de las formaciones geológicas, resistencia de las rocas, fallas, flexuras y basculamiento de los edificios litológicos. Además, se indica la evolución geomorfológica, destacando superficies de erosión, renovación del paisaje por tectónica reciente y red hidrográfica relacionada con la estructura.

La carencia en Chile de estudios sistemáticos sobre estas materias a escala detallada o semidetallada impide contar con una información que en esta nota, queremos destacar como un patrón líder para los estudios de impacto ambiental.(EIA).

En la evolución del relieve plegado, existen a lo largo y ancho del territorio nacional, formas estructurales juveniles, maduras y seniles; las crisis tectónicas han tenido en etapas postreras de la evolución, procesos de rejuvenecimiento por neotectónica; en otros casos, la evolución ha determinado formas de relieve en avanzado estado de desarrollo.

El reconocimiento de anticlinales desventrados, sinclinales colgados y anticlinales exhumados es indicador de actividad tectónica que retarda el envejecimiento de las formas del relieve, dando nuevo vigor a los procesos morfogenéticos ordenados por el clima.

Las sierras y los valles cordilleranos dan cuenta en el relieve plegado, la presencia de sierras anticlinales, homoclinales y sinclinales, como así también valles con igual evolución. Todo ello indica que, impuesta la estructura del relieve por los procesos de orogénesis, el clima ha remodelado el territorio trabajando en forma selectiva, de acuerdo a la disposición y resistencia de las rocas, formas de relieve que resumen paisajes con diversos estados de equilibrio; precarios unos, mayormente estabilizados otros.

Para los estudiosos de procesos de impacto ambiental, es útil conocer estos dos aspectos de la evolución del relieve; primero, los que se refieren a los episodios vinculados con los acci-

¹ Profesor Titular jubilado, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

dentes estructurales y, segundo, el impacto del clima y la remodelación del paisaje.

Respecto de las estructuras, los EIA se satisfacen en nuestros días, con la información pasiva que otorga la Carta Geológica Nacional, cuyo contenido es básicamente el orden cronológico de las Formaciones e identidad de las rocas; información insuficiente para poder apreciar la conducta del relieve estructural frente a actos de intervención humana.

Es evidente que la ausencia de cartas geológicas detalladas conspira para esta debilidad de la información en los diversos proyectos que deben ser sometidos a Evaluación de Impacto Ambiental. (EIA).

Respecto del clima, es cotidiano observar en estos estudios de impacto, cuadros estadísticos con valores de temperatura, humedad, presiones y vientos, como un modo de expresión climática.

Hay una notoria confusión entre datos climáticos y meteorológicos, no siendo posible extraer conclusiones válidas frente a la evolución pasada, presente y futura del paisaje.

Para acortar la brecha entre clima y meteorología es importante establecer procesos de recurrencia histórica y geológica del clima, datos palinológicos, de las formaciones superficiales que proveen información indirecta sobre las alteraciones de los detritos, suelos y paleosuelos.

Las estructuras del relieve y la hidrografía

Hay una estrecha relación entre ambas improntas del paisaje, existiendo patrones muy cercanos entre sí, razón por la cual la evolución de los sistemas de drenaje superficial es indicador subalterno de la tectónica, debido a la permanente actividad de la Placa de Nazca.

Cartas estructurales señalando la ocurrencia de capturas fluviales o cambios en la dirección del drenaje, son buenos indicadores de procesos de renovación de la erosión climática debido a ascenso o descenso de bloques tectónicos.

Notables ejemplos de estos accidentes geomorfológicos tenemos en Chile en el Estero El Rosario en la Quinta Región y en los esteros Purapel, Curanilahue y Tutuvén en la Séptima Región.

De igual modo, los estudios de ingeniería para transferencias hidrológicas, entre cuencas hidrográficas vecinas, encuentran en las cartas geológicas detalladas la necesaria información para traspasar recursos hídricos de zonas con excedencia de aguas hacia zonas carentes del recurso; del mismo modo, la transferencia sirve para erradicar coliformes fecales de esteros o arroyos con débil competencia hídrica. Un claro ejemplo de esto último es el caso de transferencia entre el río Perquillauquén y el río Cauquenes en la Séptima Región.

Correlaciones entre volcanismo y culturas ancestrales

Cartas geológicas detalladas que den referencias sobre actividad volcánica, indicando edades y recurrencia en el tiempo, permitirían establecer correlaciones con civilizaciones antiguas y procesos migratorios locales.

Estos estudios de impacto son particularmente interesantes para el análisis de culturas precolombinas del desierto, vinculada su existencia a la provisión de agua.

Conocido es el hecho que el volcanismo es uno de los procesos endógenos que mayores transformaciones introduce en la geografía de una región. El Monte Santa Elena en el Estado de Washington en los EE.UU., como el caso del Volcán Lonquimay en la VIII Región de Chile, son dos ejemplos recientes en los cuales el paisaje experimentó transformaciones importantes.

A modo de ejemplo de esta correlación entre volcanismo y antiguas culturas, hoy desaparecidas, señalaré el caso de la Quebrada de Cupo, afluente del río Salado y que tiene como nivel de base intermedio, el Salar de Turi.

La quebrada de Cupo es un sistema de drenaje de unos 20 kms. de largo, orientada en el sentido N-S, ubicándose sus actuales nacientes en-

tre los volcanes Paniri al Este y Puntudo al Oeste; en su curso medio, esta quebrada exhibe grandes y extensas andenerías prehispánicas, hoy abandonadas, al igual que todo un sistema de aducción de aguas, mediante acequias y canales. Restos de un pasado agrícola ganadero, basado en abundante existencia de agua.

En el curso superior de la quebrada se encuentran terrazas con escurrimiento fluvial, compuestas de abundantes rodados bien trabajados por el agua a una altura aproximada de unos 20 metros sobre el talweg de la quebrada, lo cual sugiere escurrimientos importantes en la antigüedad.

Hoy día existe la evidencia que este curso de aguas fue sepultado en su curso superior por una colada volcánica proveniente del Volcán Paniri, la cual por largo tiempo impidió el paso de las aguas provenientes de la actual cuenca del río Inacaliri, situada al N de la quebrada de Cupo.

Con el correr del tiempo, un débil escurrimiento se ha abierto paso a través del obstáculo impuesto por las lavas del Volcán Paniri, pero sin restaurar las condiciones de drenaje que hicieron posible una antigua cultura agropecuaria, abandonada sin retorno.

Chile es un país que ha estado sometido a una intensa y permanente actividad volcánica. Desde hace más de 20 millones de años ya existen testimonios de sucesos que han afectado el relieve, modificando la geografía regional.

La desaparición de actividades humanas y las forzadas migraciones de estos grupos hacia otras zonas han sido motivadas en gran medida por estos acontecimientos vinculados con el volcanismo; sabido es el hecho que las erupciones volcánicas, entre otras consecuencias, la más directa e inmediata es la alteración de los sistemas de escurrimiento de las aguas superficiales y subterráneas. Las lavas y lahares concomitantes a las erupciones represan el drenaje superficial, impidiendo o perturbando la dirección de las aguas.

Correlación entre estructuras geológicas y evolución morfogenética del paisaje

Valles anticlinales y sinclinales representan estructuras antitéticas en el paisaje cordillerano andino; ellas constituyen la base de un sistema de relieve que, bajo el imperio del clima, dará origen a procesos opuestos entre sí.

Si partimos en el origen de las fuerzas que levantaron los sedimentos marinos, volcánicos y continentales en la orogénesis andina, tendremos una estructura de las cuencas andinas compuesta de valles con estructura anticlinal y otros con estructuras sinclinales.

En esta composición de estructuras, las rocas frente al clima van a tener diferente comportamiento según su disposición en forma anticlinal o sinclinal.

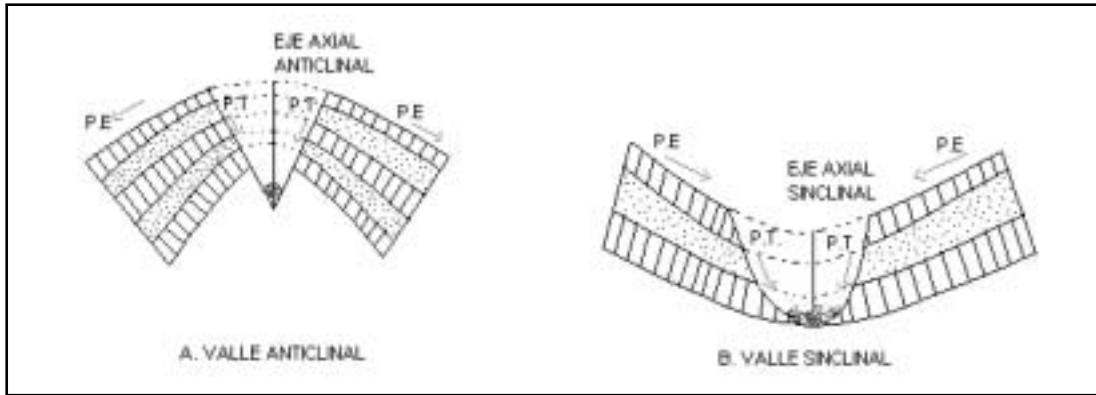
Basta observar el hecho de que en las estructuras anticlinales la pendiente estructural o buzamiento de las rocas, que llamaremos PE (pendiente estructural), es opuesta a la pendiente topográfica (PT), que es la pendiente con que cae la ladera del valle, desde la cumbre hacia el talweg.

Por el contrario, en las estructuras sinclinales PE y PT son coincidentes en su dirección, entre las cumbres y el fondo del valle.

En la figura nº1 se muestran los perfiles transversales de dos valles: a la izquierda, un valle anticlinal indicando que el buzamiento de las rocas (PE) es inverso a la pendiente de la ladera (PT); además, se observan laderas muy rectilíneas y un sistema de erosión lineal bien acusado; finalmente, las cumbres de los cerros borderos con picachos coronados por capa de rocas duras (hogback).

A la derecha de la figura, se muestra el perfil trasversal de un valle sinclinal, indicando que el buzamiento de las rocas (PE) es conforme la pendiente de la ladera (PT) siendo coincidentes ambas direcciones; además se señala un dominio de laderas cóncavas, un sistema de erosión areal en el fondo del valle y cumbres ligeramente aplanadas e inclinadas.

FIGURA N°1
VALLES DE MONTAÑA ANDINA. DIFERENCIAS MORFODINÁMICAS EN ESTRUCTURAS ANTICLINALES Y SINCLINALES.



SIMBOLOGÍA	
P.T. = PENDIENTE TOPOGRÁFICA	
P.E. = PENDIENTE ESTRUCTURAL	
CARACTERÍSTICA DE A: BUZAMIENTO INVERSO A LA PENDIENTE DE LA LADERA. P.E. INVERSO A P.T.	CARACTERÍSTICA DE B: BUZAMIENTO CONFORME A LA PENDIENTE DE LA LADERA. P.E. Y P.T. SON COINCIDENTES EN LA MISMA DIRECCIÓN.
Autor: R. Börgel O.	

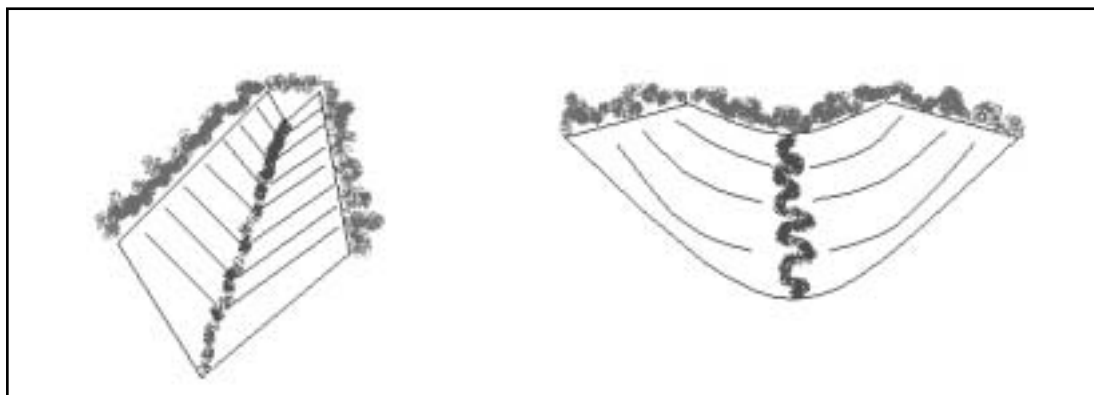
Así como se ha descrito el efecto antitético de estos dos tipos de valles, así también la evolución geodinámica posterior va creando condicionantes de procesos que contribuyen a diferenciar en el tiempo, con mayor fuerza ambos tipos de paisaje.

En la cuenca superior del río Maipo se nota que el río principal (río Maipo) en relación a sus afluentes principales (ríos Colorado, Yeso, Volcán) tiene un comportamiento muy diferente en cuanto sistema de erosión, transporte y sedimentación.

En la figura n°2 adjunta se indican seis atributos opuestos entre valles anticlinales y sinclinales, lo cual hace fácilmente reconocibles estructuras de relieve que condicionaron tempranamente una evolución morfoclimática diferente para cada caso.

Los afluentes del río Maipo, comprendidos desde los mayores hasta modestas quebradas, han desarrollado una actividad morfogenética de gran importancia y que ha perturbado en numerosas ocasiones la evolución del río principal; esto deriva del hecho de que los afluentes constituyen en su mayoría cuencas en estructuras sinclinales, en tanto que el río Maipo en gran parte de su curso de aguas, es una cuenca de estructura anticlinal (ver figura n°3).

FIGURA N°2
DINÁMICA DIFERENCIAL ENTRE VALLES ANTICLINALES Y SINCLINALES.



CARACTERÍSTICAS

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Fuerte erosión lineal con profundizamiento del nivel de base. 2. Débil pendiente en perfil longitudinal de largo trayecto. 3. Débil amplitud transversal valle. 4. Distribución homométrica de sedimentos en transporte sólido. 5. Retroceso lento de laderas inestabilidad gravitacional. 6. Cumbres con débil retención nival debido a superficies estrechas. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Erosión lineal espasmódica provocada por cambios en el nivel de base del río principal. 2. Fuerte pendiente en perfil longitudinal de corto trayecto. 3. Gran amplitud transversal del valle. 4. Distribución heterométrica de sedimentos en transporte sólido. 5. Retroceso rápido de laderas por estabilidad gravitacional. 6. Cumbres con alta capacidad de retención nival en amplias superficies. |
|---|--|

Autor: R. Börgel O.

Consecuencia de lo anterior, son los numerosos testimonios que con efecto de barrera o represamiento, el río principal ha sido impedido de escurrir con sus aguas debido a la acción obstructiva de un determinado afluente.

Los afluentes mencionados bajo el dominio de estructuras sinclinales tienen alta capacidad de retención nival, lo cual determina flujos de

escurrimiento nivopluvial con gastos elevados, gran aporte de sedimentos y constante retroceso de sus laderas; además, la sensibilidad de los valles sinclinales por efectos sísmicos, tanto tectónicos como volcánicos, provoca desplomes de laderas con variadas formas gravitacionales o grandes bloques de hielo, en la alta cordillera (ver figura n°4).

FIGURA N°3
ESTRUCTURAS ANTICLINALES EN LA LOCALIDAD DE EL MELOCOTÓN.



Localizada a 1000 metros de altitud, fachada de montaña situada al oeste del lecho del río Maipo. Se observa un sistema de erosión en canaluras profundas y hog-back prominentes en las cumbres. La vegetación trepa en altura hasta el límite marcado por los procesos con actividad nival.

El más reciente de estos sucesos, acaecido en el río Colorado, ocurrió el día domingo 29 de noviembre de 1987, entre las 11 horas 37' y las 16 horas 18' y afectó las obras en construcción de una represa en el área de Maitenes, Alfafal. A esta zona llegó un muro de rocas y barro de unos 40 metros de altura, proveniente de la cuenca alta del río Colorado, cercana al Volcán Tupungatito, con una velocidad inicial cercana a los 200 kms/hora con un peak cercano a los 300 kms/hora.

Existen testimonios de sucesos anteriores a este en Cortaderas, valle medio del río Yeso, el 04 de septiembre de 1958.

Consecuencia de estas correlaciones entre estructuras geológicas y actividad morfogenética es la construcción de un paisaje cordillerano compuesto de tres unidades morfológicas: formas de

obstrucción en las zonas de confluencia, depresiones de origen lacustre con terrazas alledañas otorgando amplias superficies planas, hacia aguas arriba de las confluencias, y tercero, terrazas de descarga hacia aguas abajo de las confluencias, resultado de la ruptura de la represa impuesta por el afluente sobre el río principal.

Estas formas perduran largo tiempo en el lugar del suceso; al respecto, aún está fresco el modelado de estas morfologías en el área de Cortaderas, no obstante haber transcurrido casi medio siglo de este accidente natural.

En el caso de la confluencia Colorado-Maipo, acontecimientos ocurridos en el Cuaternario dejan ver modelados característicos, trabajados por la erosión climática posterior, siendo posible reconstituir el paisaje preexistente a la fecha de dichos sucesos.

FIGURA N°4
ESTRUCTURAS SINCLINALES AL INTERIOR DEL VALLE DEL RÍO YESO.



La fotografía está centrada en el lugar denominado "cortaderas" a 2000 metros de altitud, sitio favorable a deslizamientos rotacionales con represamiento del lecho del río, formación de lagos de barrera y terrazas de descarga en primer plano.

Vista hacia al NE en dirección al cordón de aguja helada por sobre los 4000 metros de altitud.

Estos procesos geomorfológicos, estrechamente vinculados con las estructuras geológicas originarias, han sido descritos por varios autores y en diversas áreas del ambiente andino sudamericano, como J. Tricart, O. Dollfus, C. Lecarpentier, J. Borde, entre otros.

Conclusión

Estas correlaciones que se describen en esta nota ponen en evidencia la peculiaridad y originalidad de la geomorfología andina, la cual no resiste paralelismo con aquella de otros ambientes cordilleranos, más allá del continente sudamericano, en la fachada montañosa del Pacífico.

Estas diferencias trascienden a los estudios de Evaluación de Impacto Ambiental, los cuales, al considerar estos atributos de la estructura geológica andina y su posterior evolución

morfoclimática, aseguran un mejor acierto en las actividades relacionadas con los actos de intervención del medio ambiente.

Los estudios de impacto ambiental deben iniciarse a partir de esta realidad estructural del territorio, lo cual otorgaría una vida útil mayor a las obras civiles que intervienen el paisaje, asegurando una relación costo-beneficio y costo eficacia mayor que la observada en el pasado.

Referencias bibliográficas

ABELE, G. El Lahar Tinguiririca: su significado entre los lahares chilenos. *Revista Informaciones Geográficas*, 1982, N°29, p. 21-34.

BORDE, J. Las incidencias cataclísmicas en la morfología de los Andes de Santiago. *Revista Informaciones Geográficas*, 1960, p. 7-25 Santiago.

BORGEL, R. La crecida del río Yeso. Santiago: Universidad de Chile, folleto en mimeógrafo, 1960.

GOLUBEV, G. Avalanchas y corrientes de barro en Chile. *Revista Informaciones Geográficas*, 1969, p. 31-74.

MACPHAIL, D. El gran Lahar del Laja. En FACULTAD DE FILOSOFÍA Y EDUCACIÓN DE UNIVERSIDAD DE CHILE. *Estudios Geográficos*. Santiago: Facultad de Filosofía y Educación de Universidad de Chile, 1966, p. 133-155.