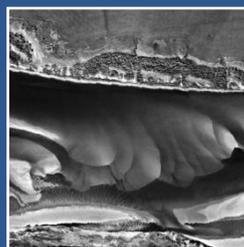


10 Razones por las cuáles

la Geomorfología

es importante



BSG

British Society for Geomorphology

10 razones por las cuales la Geomorfología es importante

preparado por **Stephen Tooth** y **Heather Viles** en 2014
con colaboraciones del Comité Ejecutivo de la **BSG, British Society for Geomorphology**
reconocimiento a los fotógrafos es provisto en los pies de fotos
figuras de **Antony Smith**, Aberystwyth University
diseñado por **Chris Simpson** de Fulcrum Graphics

Traducido por **Alejandra Soledad Bueno** en Junio de 2019 Argentina
como parte de un taller financiado por el programa **British Council Higher Education Links Grants**
taller organizado por **Stephen Tooth, Hywel Griffiths** y **Gabriel Kaless**

www.geomorphology.org.uk
registered charity 1054260



¿Qué es la geomorfología?

Actualmente en el mundo hay mucho interés y preocupación acerca del ambiente global y cómo este funciona y cambia. Las amenazas del cambio climático y la extinción de especies son comúnmente resaltadas, pero ¿qué hay acerca de los potenciales cambios en los paisajes? Comprender como los paisajes funcionan y cambian es una parte crucial de obtener un entendimiento completo del sistema terrestre y facilitar una mejor gestión ambiental. Hay aún muchas preguntas que quedan sin respuestas acerca de los paisajes físicos y nuestras interacciones con ellos.

- ¿Por qué algunas partes de la Tierra son montañosas y otras mucho más planas?
- ¿Por qué son los Himalayas tan altos?
- ¿Por qué hay partes del interior de Australia que se ubican cerca o debajo del nivel del mar?
- ¿De dónde viene toda la arena del Sahara?
- ¿Qué tan antiguo es el Gran Cañón del Colorado?
- ¿Qué tan rápido se están retirando los glaciares de Groenlandia?
- ¿Qué tan rápidamente cambiará la línea costera de Gran Bretaña durante el siglo 21 con el aumento del nivel del mar previsto?
- ¿Están algunas amenazas como los deslizamientos de tierra volviéndose más serias?

- ¿Cómo podemos conservar y gestionar mejor los paisajes?

La Geomorfología es la ciencia que estudia el origen y desarrollo de las formas terrestres (como por ejemplo colinas, valles, dunas, cuevas), y cómo esas características se combinan para formar paisajes. Como tal, hace una contribución crítica para responder las preguntas mencionadas más arriba. Los estudios geomorfológicos incluyen el análisis cuantitativo de los relieves geográficos, el monitoreo de los procesos en la superficie y cerca de ella (p. ej. agua corriente, hielo, viento) que moldean los relieves y la caracterización de los cambios en el relieve que ocurren en respuesta a factores tales como la actividad tectónica y volcánica, cambios en el clima y en el nivel del mar y actividades antropogénicas. Las investigaciones podrían estar dirigidas principalmente hacia la reconstrucción de antiguos procesos y cambios en el relieve, hacia comprender los procesos y cambios en el relieve actuales o hacia la anticipación de procesos y cambios futuros.

derived from Greek

Geomorfología

*Geo - "Tierra"
Morphe - "forma"
Logos - "discurso"*

¿Cómo se llevan a cabo los estudios geomorfológicos?

La geomorfología tiene su propio legado e historia, pero también toma aspectos de otras ciencias, particularmente la geografía física, geología y ecología. Tradicionalmente, los enfoques para el estudio geomorfológico se han enfocado principalmente en la observación de campo, descripción y medición, pero también incluían experimentación física (p. ej. en pequeñas parcelas del campo o usando canales de para cuantificar tasas y escalas de tiempo de los cambios en los laboratorios). Sin embargo, desde los primeros años de la década de 1970, imágenes de alta resolución de la topografía superficial de la Tierra y otros planetas han sido adquiridas a gran velocidad desde una variedad de satélites y naves espaciales (p. ej. Figura 1a). Muchas de estas imágenes ya están disponibles gratuitamente en Internet (p. ej. usando globos virtuales como Google Earth). Además, grandes números de modelos topográficos computarizados (p. ej.

Digital Elevation Models) se han vuelto fácilmente accesibles (Figura 1b) y el monitoreo terrestre, modelado computacional y técnicas de datación geocronológicas (p. ej. luminiscencia, análisis de isótopos cosmogénicos) han avanzado rápidamente. En consecuencia, los enfoques de estudio geomorfológicos tradicionales se combinan con estas imágenes, modelos y técnicas para cuantificar las tasas y escalas temporales de cambio en las formas terrestres. Ahora es posible ver, medir, datar y modelar una variedad de relieves terrestres y paisajes de formas que eran inimaginables hace una década atrás. Estos avances están ayudando a iluminar una variedad de problemas muy arraigados que surgían al intentar explicar el desarrollo de la superficie de la Tierra, así como también brindando una interpretación informada acerca del desarrollo de otras superficies planetarias (más notablemente Marte).

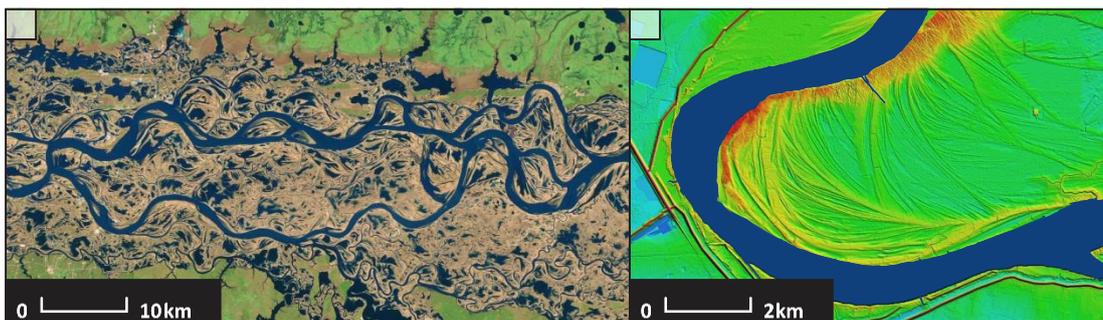


Figura 1. a) Amplia disponibilidad de imágenes satelitales como esta imagen de Landsat de los múltiples canales del río Ob, Rusia, permite la cuantificación de las características del río y la llanura de inundación. La comparación de imágenes satelitales de diferentes épocas posibilita la evaluación de las tasas de cambio ribereñas y del paisaje en general. (Fuente: United States Geological Survey Earth Explorer) b) Un modelo de elevación digital de alta resolución de un meandro del Río Mississippi, Estados Unidos, puede ser usado para identificar la zona de deposición de sedimentos y medir patrones de movimiento. En esta instancia, las características curvadas en el interior del meandro son antiguos depósitos del cauce e indican una migración de la curva hacia la parte inferior izquierda de la imagen. (Fuente: Atlas: The Louisiana Statewide GIS).

¿Por qué es importante la geomorfología?

Además de explicar cómo se desarrollaron los paisajes en el pasado, cómo funcionan actualmente y como podrían cambiar en el futuro, hay un creciente reconocimiento de la importancia de la geomorfología y los geomorfólogos para contribuir en un amplio rango de investigaciones ambientales y temas de gestión (Figura 2).

Por ejemplo, los geólogos estructurales quieren saber cómo la erosión en la superficie terrestre influencia los patrones de formación de rocas y de desarrollo de cordones montañosos. Los geólogos petroleros emplean un entendimiento de los procesos deposicionales actuales para mejorar los esfuerzos de la exploración de la superficie en busca de reservas de gas alojadas en rocas sedimentarias. Los ingenieros usan el conocimiento de procesos erosivos y deposicionales para mejorar las estimaciones de los umbrales de estabilidad de las pendientes de las colinas, o para evaluar la probabilidad de cambios de cauce a lo largo de ríos en donde se planean desarrollos de infraestructura. Los científicos planetarios emplean las perspectivas obtenidas del estudio de los procesos de los paisajes de la Tierra para ayudarse a interpretar las superficies planetarias. Los arqueólogos están interesados en cómo los procesos erosivos y deposicionales influyen la preservación de artefactos y otras formas de evidencia de antiguas sociedades humanas. Los ecologistas reconocen que los procesos geomorfológicos proveen las plantillas geomorfológicas sedimentarias e hidrológicas sobre las cuales procesos ecológicos claves, como por ejemplo la sucesión, ocurren; particularmente, los ecologistas preocupados por la conservación de la biodiversidad están interesados en comprender la complejidad del paisaje físico, geodiversidad, ya que esta puede ejercer un control importante sobre la diversidad de las especies. Implícita o explícitamente, las consideraciones geomorfológicas también

sustentan muchos aspectos de las políticas ambientales, leyes y administración de tierras toma de decisiones como, por ejemplo, la European Union's Water Framework Directive.

Brevemente, la geomorfología y los geomorfólogos proveen datos, conocimiento y perspectivas que son adicionales y complementarios con aquellos provistos por otras disciplinas académicas y profesiones. En muchos casos, las consideraciones geomorfológicas son importantes, de hecho esenciales, para facilitar un enfoque de investigación ambiental integral y lograr una gestión ambiental sostenible.

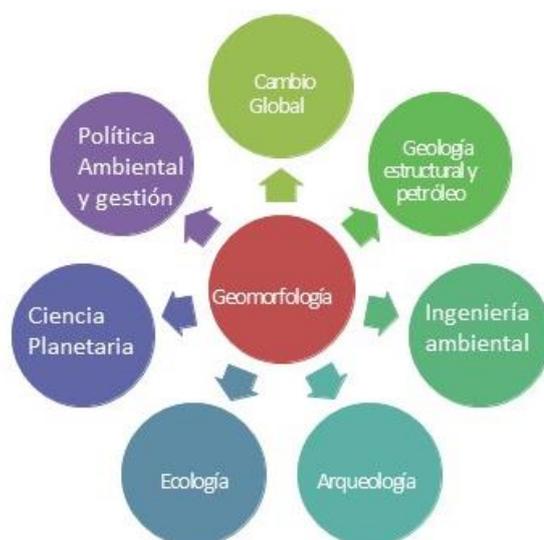


Figura 2. La geomorfología se superpone con y contribuye a muchos aspectos diferentes de las ciencias de la tierra, ambientales y sociales.

¿De qué se trata este documento?

A pesar de la demostrable importancia de la geomorfología, los términos “geomorfología” y “geomorfólogo” probablemente no sean muy bien entendidos. En parte, porque la geomorfología no existe como una disciplina universitaria independiente, típicamente teniendo raíces dentro de los departamentos de geografía en países como el Reino Unido, Australia y principalmente dentro de los departamentos de Geología y Ciencias de la Tierra en los Estados Unidos. No obstante, hay un gran número de organizaciones dedicadas a apoyar la promoción de la geomorfología que incluyen: la BSG, British Society for Geomorphology; el ANZGG, Australian and New Zealand Geomorphology Group y la IAG, International Association of Geomorphologists. Además, sesiones con especialistas en geomorfología se llevan a cabo regularmente dentro de reuniones organizadas por organizaciones más grandes como la EGU, European Geosciences Union, o la AGU, American Geophysical Union.

El objetivo de este documento es introducir el término “geomorfología” a una audiencia no especializada e ilustrar una

selección de principios claves que sustentan a esta disciplina. La popularidad de globos virtuales como Google Earth demuestran que el interés de público en los relieves y paisajes de la Tierra y otros planetas es alto; incluso algunos de los hilos de discusión online en el Blog de Google Earth y en los foros de la Comunidad de Google Earth giran en torno a preguntas acerca del desarrollo de relieves, pero en algunos casos la exactitud y claridad de la discusión podría beneficiarse de bases más sólidas en los principios de la geomorfología moderna. Tomando inspiración de las iniciativas US-based Climate Literacy¹ y Science Literacy² resaltamos diez puntos clave que cualquier ciudadano debería saber acerca de la geomorfología. Estos diez puntos no son exhaustivos, sino que simplemente están orientados a indicar porqué la geomorfología debería ser vista como una ciencia ecléctica pero coherente, vibrante, innovadora y relevante. El documento concluye brindando fuentes de información adicional.

¹www.globalchange.gov/resources/educators/climate-literacy

²www.earthscienceliteracy.org

Alfabetización Geomorfológica: 10 puntos claves que todos deberían saber acerca de la geomorfología

Los diez puntos que todos deberían saber acerca de la geomorfología, las diez razones por las cuales la geomorfología es importante, están sintetizados en la Tabla 1, tanto en forma resumida como extendida.

Tabla 1. Resumen de los diez puntos clave

1 Los paisajes son moldeados por movimientos de masa	Los paisajes se moldean por procesos geomorfológicos, los cuales esencialmente involucran movimientos de masa (roca, sedimento o agua) a través de la superficie de la Tierra.
2 Los procesos que moldean los paisajes son influenciados por muchos factores diferentes.	Varios factores tectónicos, geológicos, climáticos y ecológicos proveen las mayores influencias sobre los procesos geomorfológicos y los movimientos de masa.
3 Los procesos del paisaje operan en varias escalas diferentes	Los procesos tectónicos, geológicos, climáticos y ecológicos que influyen a los procesos geomorfológicos y los movimientos de masa cambian en diferentes escalas temporales y espaciales.
4 Los paisajes de la Tierra son dinámicos	Los relieves y paisajes no son estáticos e invariables, sino que son dinámicos y se desarrollan a través del tiempo.
5 Las dinámicas del paisaje son a menudo complejas	Además de las cambiantes condiciones tectónicas, geológicas, climáticas o ecológicas, reajustes internos impulsan el desarrollo de los accidentes geográficos y paisajes.
6 Los paisajes son archivos del pasado	Los paisajes contienen historias de su desarrollo que potencialmente pueden ser descifradas y reconstruidas a partir del estudio de los relieves y sedimentos asociados.
7 El cambio global está influenciando las dinámicas del paisaje	El continuo cambio ambiental, el cual incluye el calentamiento de la atmósfera y el aumento del nivel del mar, está actualmente impulsando el desarrollo de formas terrestres, incluyendo la desecación de lagos en desiertos, el retiro de las capas glaciares y erosión de la línea costera.
8 Las actividades humanas están influenciando las dinámicas del paisaje	Cada vez más, muchos procesos geomorfológicos y desarrollos de relieves/paisajes están influenciados por actividades humanas.
9 Los paisajes de la Tierra se están volviendo cada vez más peligrosos	Tanto el cambio ambiental global como las actividades humanas están incrementando la magnitud y frecuencia de amenazas geomorfológicas, las cuales ocurren donde y cuando la estabilidad de la superficie es afectada y se experimentan impactos socioeconómicos adversos.
10 Una gestión ambiental efectiva necesita conocimientos de la geomorfología	La geomorfología puede proveer una contribución crítica para la gestión ambiental, incluyendo la conservación de paisajes, conservación y restauración de ecosistemas, conservación de patrimonios y paisajismo de carbono.

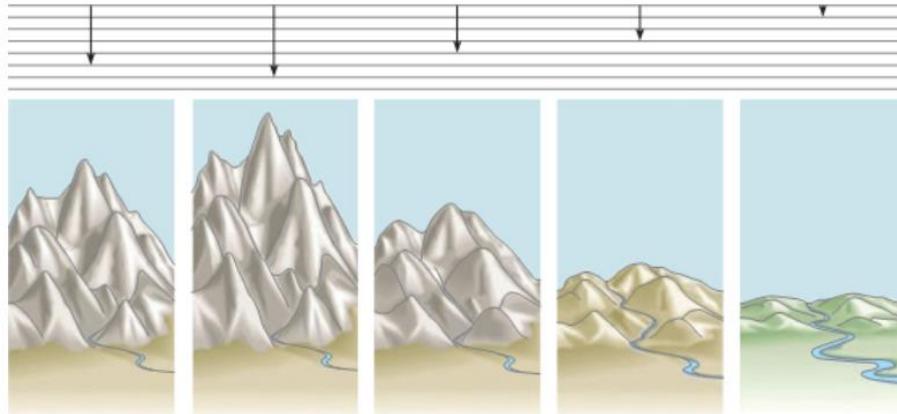
1

Los paisajes son moldeados por movimientos de masa

Los accidentes geográficos son moldeados por procesos geomorfológicos, los cuales esencialmente involucran movimientos de masa (roca, sedimento o agua) a través de la superficie terrestre. El movimiento de masa comúnmente involucra la meteorización, la erosión, transporte y deposición de materiales superficiales por gravedad, hielo, viento o agua, pero también puede incluir la actividad tectónica cerca de la superficie o la actividad de aguas subterráneas. El movimiento de masa comúnmente es predominantemente hacia abajo (de elevaciones más altas a más bajas, como pueden ser los derrumbamientos de tierra inducidos por la gravedad o el movimiento de sedimentos colina abajo por acción de la escorrentía). Pero también pueden darse hacia arriba (de elevaciones más bajas hacia las más altas,

como por ejemplo el elevamiento tectónico, erupciones volcánicas, o la acción del viento). El balance entre los dos tipos de movimiento de masa determina si los relieves / paisajes tienden a decrecer en relieve (p. ej. aplastamiento y/o descenso) a lo largo del tiempo, o a crecer en relieve (p. ej. empinamiento de la pendiente y / o elevación) a través del tiempo (Figura 3). Dentro de los paisajes, los relieves individuales pueden ser clasificados como principalmente erosivos/ degradativos (p. ej. la masa es removida para formar características como valles), o deposicionales/construccionales (p. ej. la masa se acumula para crear características como depósitos en las laderas de las colinas o conos volcánicos).

Tasa de erosión
(metros por millón
de años)



Tasa de elevación
(metros por millón
de años)

La elevación es mayor a la erosión; las montañas se elevan. (Ej: Himalaya)

La elevación está en equilibrio con la erosión. Las montañas permanecen elevadas (ej. Taiwán)

La elevación es menor a la erosión; las montañas pierden altura (ej. Los Alpes Europeos)

Elevación casi detenida, erosión ralentizada; levantamientos y hondonadas (ej. Cinturón de Pliegues del Cabo, Sudáfrica)

No hay elevación, erosión lenta, pequeñas colinas y tierras bajas (ej. Barrier Ranges, Australia central)

Figura 3. La elevación y el relieve de grandes accidentes geográficos como montañas está determinado por una competencia entre movimientos de masa ascendentes (p. ej. a través de la elevación tectónica) y descendentes (p. ej. meteorización y erosión) (Fuente: rediseñado y adaptado de Press, F. and Siever, R., 1997. Understanding Earth (2nd edition), W.H. Freeman and Company, New York).

¿Sabías qué...

El punto más alto en la superficie de la Tierra medido desde el nivel del mar es el Monte Everest, en la frontera entre Nepal y China. La elevación de la cima es aproximadamente 8848 m, y resulta de la continua elevación tectónica en el Himalaya que supera al desgaste y la erosión. El punto más bajo en ambientes áridos está en la costa del Mar Muerto, compartido por Jordania e Israel. La elevación de aproximadamente 418 m bajo el nivel del mar es el resultado de la fractura y hundimiento de esa parte de la corteza terrestre (Fuente: Wikipedia).

³http://en.wikipedia.org/wiki/Extreme_points_of_Earth

2 Los procesos que moldean el paisaje están influenciados por muchos factores diferentes

Varios factores tectónicos, geológicos, climáticos y ecológicos proveen importantes influencias en los procesos geomorfológicos. Diferentes configuraciones tectónicas mediante elevamiento pueden influenciar si el potencial de movimiento de masa es predominantemente hacia arriba (p. ej. a través de la elevación donde las placas continentales colisionan) o hacia abajo (p. ej. a través del hundimiento de la falla donde la corteza de la Tierra se fractura). Diferentes litologías (tipos de roca) tienen diferentes susceptibilidades a la meteorización y a la erosión. El entorno climático influye en la temperatura y la disponibilidad de humedad, influencias clave en el potencial de meteorización y en la disponibilidad de agua en forma líquida o sólida, y esto afecta la erosión, transporte y deposición. Las influencias ecológicas, plantas y animales (incluso humanos), podrían también jugar un rol, en algunos casos limitando el potencial de movimiento de masa (p. ej. raíces de árboles estabilizando las laderas de las colinas contra la erosión, Figura 4a) pero en otros, facilitando el potencial de movimientos de masa (p. ej. las actividades de cavar de algunos insectos y mamíferos, Figura 4b). En esencia, la geomorfología es la ciencia que estudia el efecto integrado de todos estos factores en la formación de la superficie de la Tierra. Ya que el efecto integrado varía de región en región, muchos relieves tienen distribuciones espaciales semi-predecibles.

Por ejemplo, las cordilleras escarpadas tienden a estar principalmente en áreas que están bajo procesos de elevamiento tectónico, con litologías que son susceptibles a la meteorización y a la erosión en climas que se caracterizan por precipitaciones o nevadas intensas (p. ej. Los Alpes de Nueva Zelanda o en Taiwán) (Figura 3). Zonas altas, pero menos escarpadas o llanuras, tienden a encontrarse en áreas menos activas tectónicamente o incluso inactivas, particularmente donde las litologías son más resistentes y/o el clima es más seco (p. ej. en el sur de África o centro de Australia) (Figura 3). Las capas de hielo y glaciares están localizadas principalmente en las altitudes más altas y/o en elevaciones más altas donde el agua permanece congelada durante todo el año o substancialmente casi todo el año. Las laderas con suelos gruesos tienden a desarrollarse mejor en regiones más húmedas en donde la cubierta de vegetación estabilizante está bien desarrollada, mientras que las dunas activas formadas por el viento tienden a ocurrir principalmente en regiones secas y arenosas, descubiertas de cubierta vegetal.

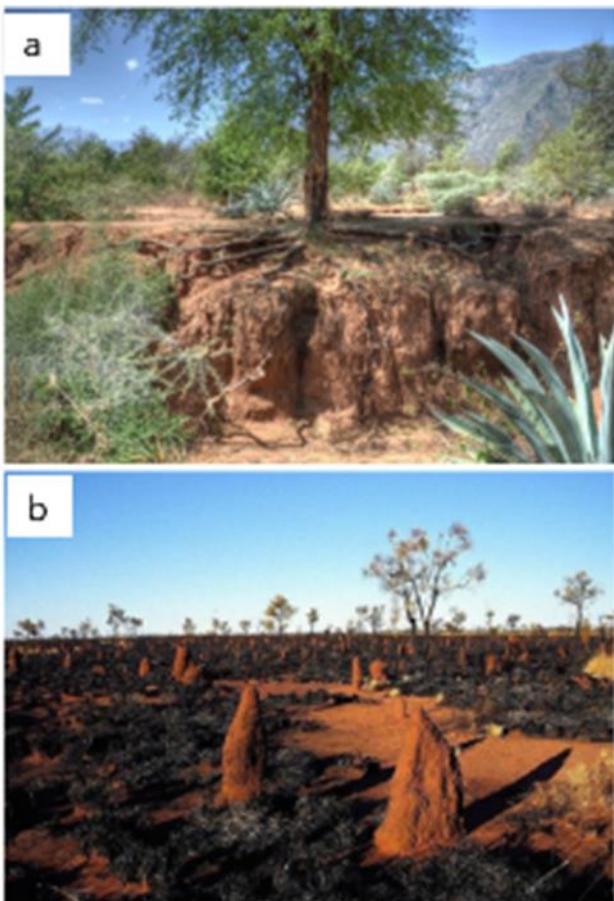


Figure 4. a) Las raíces de los árboles, arbustos y pasturas comúnmente ayudan a sujetar sedimentos y suelos sueltos, minimizando el potencial de erosión durante eventos de precipitación y escorrentía. En este ejemplo de Kenia, la extensión de una red de raíces de árboles es revelada por la erosión que comenzó en una parte adyacente de tierra desprotegida (Foto: Daniel Green); b) Los termiteros son formas terrestres que resultan del movimiento de masa por insectos. En este ejemplo del Desierto Tanami, Australia central, múltiples termiteros de hasta 1,5 m de alto proveen un marcado contraste con la vegetación quemada (Foto: Stephen Tooth).

¿Sabías qué...

Alrededor de la Falla Alpina en los Alpes del Sur, Nueva Zelanda, la tierra se está elevando verticalmente alrededor de 10 mm por año a la vez que se mueve horizontalmente 30 mm por año. Estas tasas son, aproximadamente, las mismas a las cuales crecen las uñas de un adulto saludable (Fuente: Little, T.A. et al, 2005. Variations in exhumation level and uplift rate along the oblique-slip Alpine fault, central Southern Alps, New Zealand. Geological Society of America Bulletin, 117, 707-723; Yaemsiri, S. et al. 2010. Growth rate of human fingernails and toenails in healthy American young adults. Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology, 24, 420-423).

3

Los procesos del paisaje operan en varias escalas diferentes

Los factores tectónicos, geológicos, climáticos y ecológicos que influyen los procesos geomorfológicos y los movimientos de masa cambian a diferentes escalas espaciales y temporales. Algunos factores pueden ser caracterizados como de baja frecuencia / alta magnitud, ya que pueden actuar relativamente irregularmente, pero mover grandes cantidades de masa (p. ej. elevamiento tectónico regional que involucra fractura) y resultan en relieves de gran escala (p. ej. cordones montañosos). Otros factores son de alta frecuencia/baja magnitud ya que actúan relativamente de manera regular pero sólo mueven pequeñas cantidades de masa (p. ej. la fluencia de suelo debido a la gravedad, o eventos climáticos localizados que llevan a

precipitaciones y flujos superficiales en las laderas) y tienen como resultado relieves de pequeña escala (p. ej. pequeñas cárcavas). Entre estos dos extremos, los factores tectónicos, geológicos, climáticos y ecológicos se pueden combinar de varias formas para influenciar los procesos geomorfológicos y el movimiento de masa. Al distinguir entre procesos geomorfológicos que ocurren a lo largo de este espectro desde baja frecuencia / alta magnitud a alta frecuencia/ baja magnitud, podemos conceptualizar como el movimiento de masa ocurre a diferentes tasas (Figura 5), y cómo diferentes formas terrestres se desarrollan a través de un espectro de escalas temporales y espaciales (Figura 6).

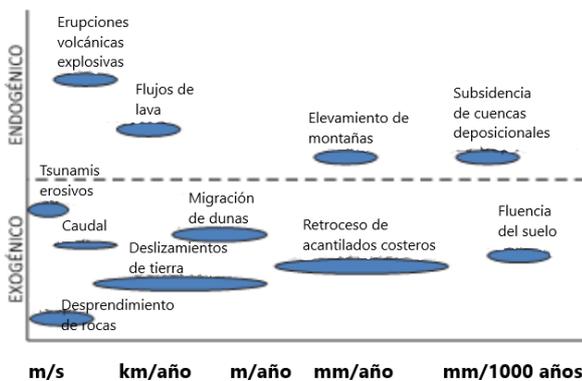


Figura 5. Los procesos geomorfológicos son impulsados por factores endogénicos (alimentados desde el interior de la Tierra como, por ejemplo, volcanes y terremotos) y exogénicos (impulsados por la energía del sol y trabajando a través de los sistemas climáticos como lluvia, viento y olas). Diferentes procesos resultan en diferentes tasas de movimiento relieves de gran escala como cadenas montañosas se desarrollan a lo largo de escalas temporales más largas (Fuente: adaptado de Goudie, A.S. and Viles, H.A., 2010. Landscapes and Geomorphology: A Very Short Introduction. Oxford University Press, Oxford).

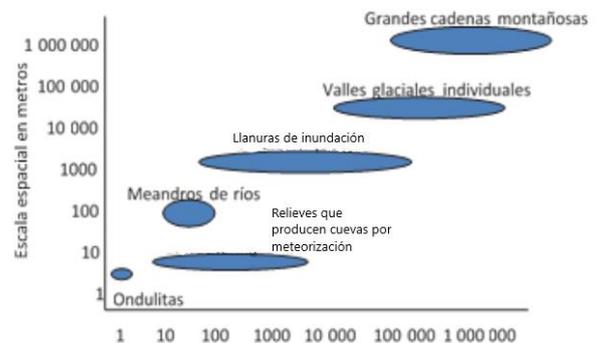


Figura 6. Las formas terrestres varían ampliamente en escala espacial (tamaño), y su desarrollo ocurre a través de un amplio rango de escalas temporales. Relieves de pequeña escala, tales como las ondulitas, se erosionan y reforman en rápidas escalas temporales, mientras que las formas terrestres de gran escala como las cadenas montañosas se desarrollan a lo largo de escalas temporales mucho más largas (Fuente: adaptado de Goudie, A.S. and Viles, H.A., 2010. Landscapes and Geomorphology: A Very Short Introduction. Oxford University Press, Oxford).

¿Sabías qué...

El volcán de Kilauea en la Gran Isla de Hawaii es tal vez uno de los volcanes más activos del mundo. Varias estimaciones sugieren que el Kilauea comenzó a formarse 300 000 – 600 000 años atrás sobre el lecho marino y probablemente ha estado activo desde entonces, sin períodos prolongados de inactividad. El Kilauea emergió del mar como una isla tal vez hace 50 000 – 100 000 años y ahora se erige por casi 1280 m sobre el nivel del mar y tiene un volumen estimado de 25 000 – 35 000 km³ (1km³ equivale a 1 billón de m³). La isla está formada principalmente por flujos de lava, intercaladas con depósitos de erupciones explosivas, ilustrando cómo procesos endogénicos que se originaron a más de 60 km de profundidad bajo la Tierra han conducido vastos volúmenes de magma hacia la superficie (Fuente: United States Geological Survey, Hawaiian Volcano Observatory⁴).

⁴<http://hvo.wr.usgs.gov/kilauea/>

Las formas del terreno y los paisajes no son estáticos e invariables, sino que son dinámicos y se desarrollan a través del tiempo. Aunque la naturaleza dinámica de las formas del terreno y los paisajes es bien conocida por los geomorfólogos, no siempre es apreciada por el público general, y puede haber una tendencia a ver las formas del terreno y los paisajes como fijos en forma, tamaño y posición. Sin embargo, dado que los factores tectónicos, geológicos y especialmente los climáticos y ecológicos cambian a través del tiempo y el espacio (ver punto clave 3), todos los relieves y paisajes están sujetos a cambio. Por ejemplo, con un cambio hacia climas más secos, la disminución de cubiertas vegetales estabilizantes puede llevar a mayores pérdidas de suelo por medio de la erosión del viento o del agua, mientras que, con un cambio hacia climas más húmedos, las dunas antiguamente activas se vuelven estables por un renovado crecimiento de la vegetación. No obstante, como se ilustra en las Figuras 5 y 6, la tasa de desarrollo del relieve o paisaje puede variar ampliamente dependiendo de los procesos operantes y de la cantidad de masa que necesita ser movida para que el cambio sea visible. Las formas

terrestres y/o paisajes de gran escala (p. ej. cordones montañosos) se desarrollan típicamente de manera lenta a lo largo del tiempo debido a las vastas cantidades de masa que necesitan ser movidas para efectuar un cambio y, por lo tanto, pueden ser características de la superficie de la Tierra relativamente persistentes. Los relieves de pequeña escala (p. ej. las cárcavas en las laderas) pueden cambiar rápidamente en el tiempo porque se necesita mover sólo pequeñas cantidades de masa para efectuar el cambio. Otras formas terrestres pueden desarrollarse lentamente durante un tiempo, luego repentinamente y rápidamente se desarrollan al cruzar un umbral. Por ejemplo, algunos cauces de río pueden permanecer en posiciones mayormente estables entre diques que lentamente crecen en altura a lo largo del tiempo y eso efectivamente eleva el cauce por sobre la llanura de inundación circundante (Figura 7). Eventualmente, los diques fallan durante las inundaciones y un nuevo cauce se erosiona en una posición más baja en la llanura de inundación mientras que el viejo canal es gradualmente abandonado.

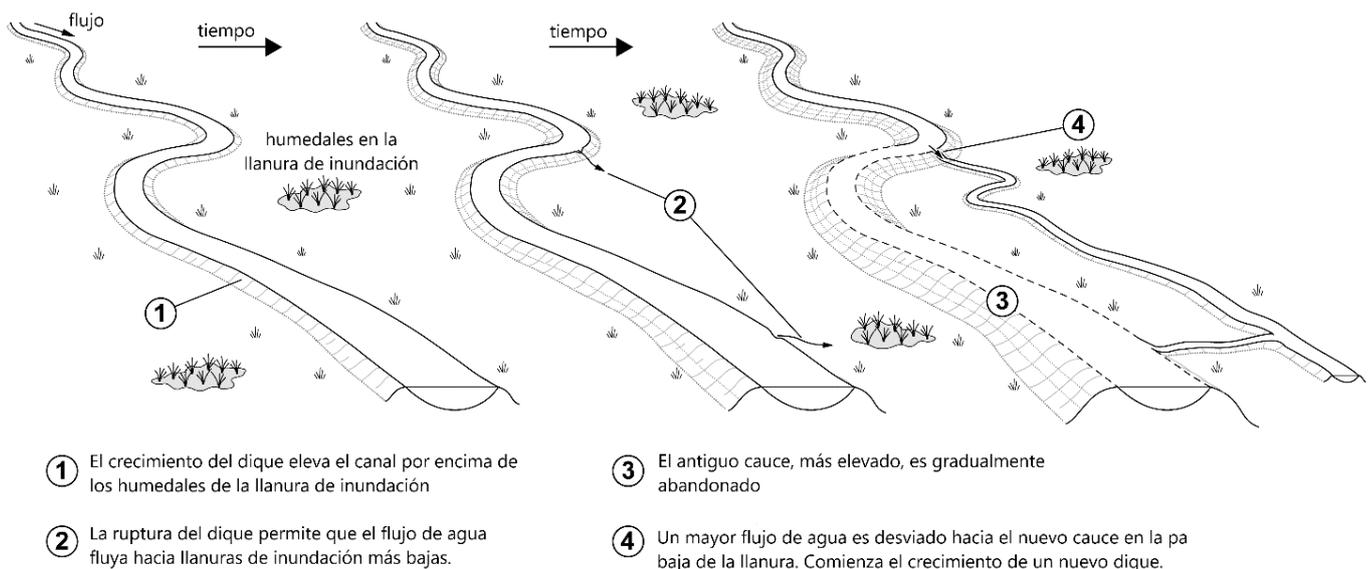


Figura 7. La deposición de arena, limo y arcilla a lo largo y de manera adyacente a los cauces de los ríos puede llevar al crecimiento de diques y el aumento del caudal por sobre el nivel de la llanura de inundación circundante. Durante las inundaciones, las rupturas en el dique pueden desviar cantidades de flujo en aumento hacia partes más bajas de la llanura de inundación. Eventualmente, se cruza un umbral a través del cual un nuevo cauce formado transporta una creciente proporción del caudal y el antiguo cauce, de más elevación, es gradualmente abandonado.

¿Sabías qué...

Durante los últimos dos siglos, el Río Kosi, en India, se movió más de 113 km hacia el oeste en su paso a través de la cuenca del Himalaya. En agosto de 2008, sin embargo, el Río Kosi cambió su curso dramáticamente moviéndose 60 km hacia el este en un sólo evento, desviando la mayor parte del caudal en un nuevo cauce. (Fuente: Chakraborty, T. et al. 2010, Kosi megafan: historical records, geomorphology and the recent avulsion of the Kosi River, *Quaternary International*, 227, 143160).

Además de las cambiantes condiciones tectónicas, geológicas, climáticas o ecológicas, los ajustes internos pueden también impulsar el desarrollo de formas terrestres y paisajes. Los mayores motores para el desarrollo de formas terrestres y paisajes son comúnmente factores externos, incluyendo aquellos relacionados con perturbaciones tectónicas, volcánicas, climáticas, del nivel del mar o antropogénicas, pero los desarrollos de formas terrestres/paisajes pueden también resultar de ajustes internos que ocurren independientemente de los cambios en estos factores externos. Por ejemplo, incluso bajo condiciones de flujo y transporte de sedimentos estables, la migración lateral de los meandros de río puede en última instancia resultar en el bloqueo de una curva y la formación de un lago de meandro (Figura 8). En

algunas situaciones, tanto factores externos como internos pueden combinarse para impulsar cambios en las formas terrestres/paisajes. Por ejemplo, los depósitos de la ladera de una montaña pueden acumular masa regularmente durante un lapso de tiempo, incrementando gradualmente el ángulo de la pendiente (Figura 9). Eventualmente, el ángulo crítico para la estabilidad de la ladera puede ser superado pero estos reajustes internos pueden ser insuficientes para desencadenar cambio por sí mismos; la forma terrestre puede permanecer estable hasta que la falla de la pendiente (Figura 9) sea impulsada por un cambio en los factores externos, como puede ser la actividad tectónica (p. ej. un terremoto) o un evento de precipitación intensa.

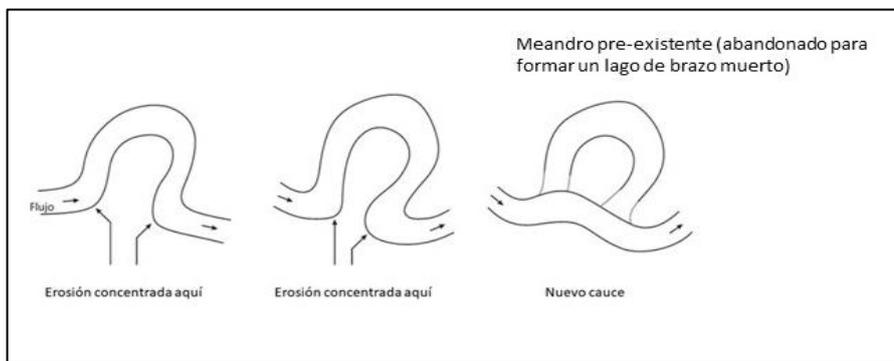


Figura 8. A lo largo de los meandros, la erosión tiende a ser realizada en la parte exterior de las curvas. Esto puede llevar al encuentro de curvas adyacentes, lo cual, en última instancia lleva a un ensanchamiento del cauce y se abandona la antigua curva.

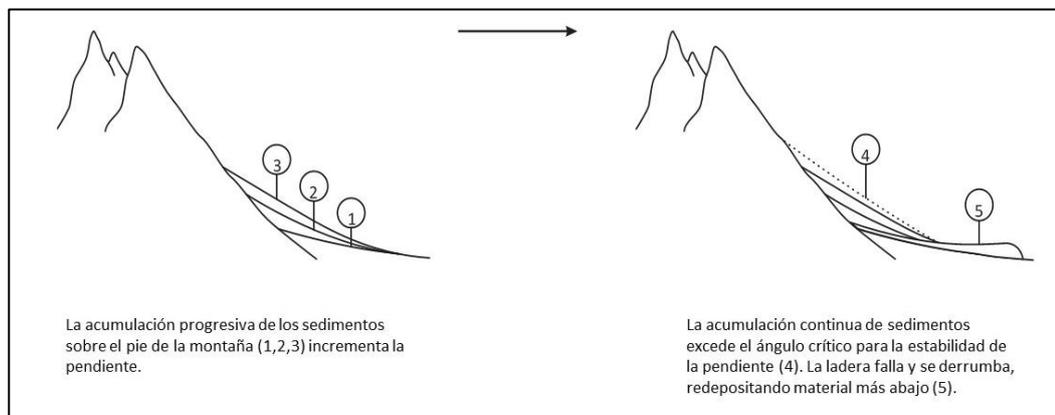


Figura 9. La erosión de las cimas de montaña comúnmente resulta en la deposición de sedimentos en los pies de montañas adyacentes. La acumulación progresiva de sedimento lleva a un empinamiento de la pendiente. Si se excede el ángulo crítico de la estabilidad de la pendiente, el depósito se vuelve inestable, y la falla (p. ej. un derrumbamiento) puede ser desencadenada por un

terremoto o una gran precipitación. En el evento de una falla, la pendiente se reduce por debajo del ángulo crítico y los sedimentos son depositados al pie.

¿Sabías qué...

Los deslizamientos de tierra pueden moverse muy lentamente, por ejemplo, incluso las partes que más rápido se mueven del Slumgullion Landslide, Colorado, se mueven a menos de 0,02 m por día (Fuente: Colorado Geological Survey⁵). Otros deslizamientos, sin embargo, pueden moverse extremadamente rápido; por ejemplo, algunos deslizamientos en los Alpes Europeos se mueven a decenas de kilómetros por hora (Fuente: European Commission, Joint Research Centre⁶).

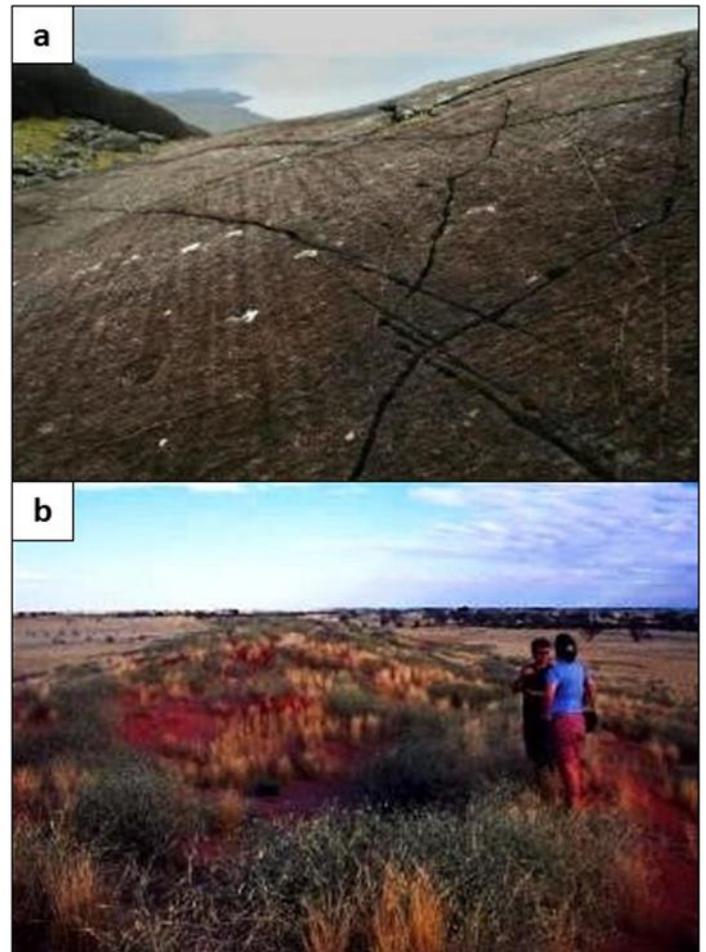
⁵<http://coloradogeologicalsurvey.org/wp-content/uploads/2013/08/41.pdf>

⁶<http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/landslides/>

Los paisajes contienen historias de su desarrollo que pueden potencialmente ser descifradas y reconstruidas a partir del estudio de sus formas asociadas y sedimentos. En muchas partes de media y alta latitud en el hemisferio norte, los paisajes alojan formas y sedimentos que contienen señales distintivas de procesos que operaron bajo condiciones significativamente más frías en el pasado, incluyendo aquellos relacionados con capas de hielo y glaciares (p. ej. valles parabólicos, superficies de lechos rocosos erosionados y estriados, y depósitos pobremente clasificados que varían desde barro hasta canto rodado) (Figura 10a). En regiones que han escapado en gran medida a la glaciación, como el interior de algunos continentes del hemisferio sur, los paisajes alojan relieves y sedimentos que contienen marcas distintivas de procesos que operaron bajo condiciones significativamente más cálidas y húmedas en el pasado (p. ej. suelos ricos en ciertos compuestos químicos, o antiguos cauces con dimensiones mayores que en el presente) y/o procesos que operaron bajo condiciones significativamente más frescas y secas en el pasado (p. ej. suelos ricos en ciertas sales, o dunas hoy estabilizadas por vegetación) (Figura 10b). Otros paisajes pueden hospedar relieves

y sedimentos que atestiguan una exacerbada actividad tectónica o volcánica en el pasado (p. ej. volcanes o fallas degradadas e inactivas). La respuesta de las formas terrestres y los paisajes a estas condiciones cambiantes puede ser complicada por reajustes internos (ver punto clave 5), mientras que la evidencia de la naturaleza de antiguos procesos y cambios en el paisaje es comúnmente borrada de manera parcial por procesos geomorfológicos más recientes operando bajo condiciones diferentes. Sin embargo, si queda suficiente evidencia, aunque fragmentada, una historia coherente del desarrollo del paisaje puede ser descifrada y reconstruida, incluyendo el establecimiento de tasas de cambio y la evaluación de los posibles factores externos e internos que impulsan los cambios. Reconstruir las historias del desarrollo del paisaje provee un contexto esencial para evaluar la naturaleza de los cambios recientes y actuales, y también ayuda a limitar o proyectar las posibles trayectorias de futuros cambios en el paisaje bajo escenarios de cambio climático global (ver punto clave 7) y evaluar la importancia de los impactos humanos (ver punto clave 8).

Figura 10. Ranuras paralelas (“estrías”) grabadas en el lecho rocoso fracturado, indicando antiguos movimiento de hielo en la Isla de Skye, noroeste de Escocia (Foto: Stephen Tooth); b) vista a lo largo del albardón de una duna en el norte del Desierto Simpson, Australia central. Esta y otras dunas vecinas están siendo mayormente estabilizadas por vegetación, pero en intervalos del pasado, la acelerada actividad de las dunas ha ocurrido bajo condiciones de una reducida cubierta vegetal y/ o una aumentada fuerza del viento (Foto: Stephen Tooth).



¿Sabías qué...

Actualmente, cerca del 10 por ciento del mundo está cubierto por hielo, pero en el pasado, esa cifra ha sido tan elevada como el 30 por ciento. En el Reino Unido, la extensión y el espesor de las antiguas capas de hielo son un tema de investigación actual pero ciertamente se han extendido tan al sur como Londres, y en algunos lugares el hielo discutiblemente ha tenido 4-5 km de espesor (Fuente: a partir de la British Geological Survey⁷).

⁷www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/geologyOfBritain/iceAge/

El cambio ambiental global en marcha, el cual incluye el calentamiento atmosférico y el aumento del nivel del mar, está actualmente impulsando el desarrollo de formas terrestres que incluyen la desecación de lagos de desierto, el retroceso de capas de hielo y glaciares y la erosión costera. Aunque la respuesta de las formas terrestres y los paisajes a factores externos puede verse complicada por reajustes internos (ver punto clave 5), los “hotspots” geomorfológicos pueden ser identificados como aquellas formas terrestres o paisajes que son particularmente vulnerables a cambios dramáticos e irreversibles como consecuencia del cambio global ambiental. Estos incluyen capas de hielo y glaciares, dunas y lagos en desiertos, deltas y arrecifes de coral (Figura 11). A su vez, algunos de estos desarrollos de formas terrestres/paisajes pueden entonces influenciar el cambio ambiental, particularmente porque muchas formas terrestres están directa e indirectamente relacionadas con “puntos de inflexión” del clima (p. ej. fenómenos regionales que pueden ejercer una retroalimentación positiva en el calentamiento global) y “hotspots” ecológicos (p.ej. regiones con un reservorio significativo de biodiversidad que está bajo amenaza). El

acelerado retroceso de las capas de hielo de la Antártida y Groenlandia, por ejemplo, contribuirá directamente al ascenso del nivel del mar, pero también reducirá el albedo de la Tierra (reflectividad) e influenciará la salinidad oceánica, que a su vez afectará las temperaturas oceánicas, corrientes y la redistribución del calor global, siendo una de las ramificaciones posibles más calentamiento atmosférico. El aumento del nivel del mar, el calentamiento del océano y las corrientes cambiantes podrían llevar a una aceleración de la erosión costera, posiblemente con consecuencias negativas para los ecosistemas biodiversos de los arrecifes de coral y manglares. La influencia global o regional de otros cambios en las formas terrestres es menos entendido, pero podría también ser significativa; por ejemplo, la desecación de lagos de desiertos y la acción del viento pueden llevar a la generación de cantidades aumentadas de polvo en la atmósfera, con implicancias para el clima y los ecosistemas, incluyendo complejos, pero pobremente comprendidos efectos en la generación de huracanes, fertilización oceánica y provisión de nutrientes terrestres

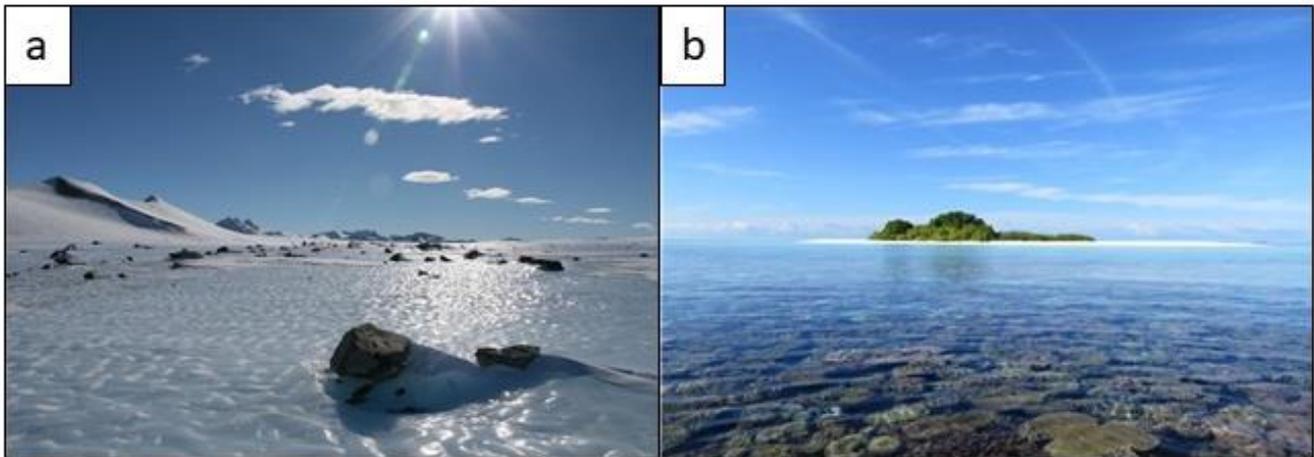


Figure 11. a) Glaciar Horseshoe, Antártida (Foto: Stuart Dunning); b) Isla arenosa baja (cayo) elevándose sobre el arrecife de coral, Islas Maldivas (Foto: Holly East). Estas formas terrestres son vulnerables a los impactos de varios cambios ambientales globales incluyendo el aumento de la temperatura del aire y del mar, el incremento del nivel del mar y una exacerbada erosión debido a las olas.

¿Sabías qué...

Si todo el hielo de la Antártida se convirtiera en agua líquida, sería suficiente para elevar el nivel de los océanos del mundo en 60 metros (Fuente: National Snow and Ice Data Center⁸). No obstante, a pesar de que actualmente hay mucha preocupación con respecto al rol del derretimiento de las capas de hielo en el aumento del nivel del mar, tal escenario extremo no se considera probable en el futuro cercano.

⁸www.nsidc.org/cryosphere/quickfacts/icesheets.html

8

Las actividades humanas están influenciando las dinámicas del paisaje

Cada vez más, muchos procesos geomorfológicos y desarrollos de formas terrestres/paisajes son influenciados por actividades humanas. Las actividades humanas pueden tener una influencia directa en los procesos geomorfológicos, ya sea potenciando las tasas naturales de cambio (p. ej. alentando el bloqueo de meandros como parte de proyectos para enderezar cauces) o suprimiendo las tasas naturales de cambio (p. ej. mediante obras para proteger las orillas ribereñas) (Figura 12). Las actividades humanas también pueden tener una influencia indirecta en los procesos naturales, como por ejemplo a través de la tala de bosques y la conversión a tierras agrícolas y su influencia en la escorrentía de las laderas y la transferencia de sedimentos, o mediante translocaciones de plantas y animales que tienen una influencia geomorfológica como los sauces y los conejos. Además,

muchas actividades humanas involucran el movimiento de masa (roca, sedimentos y agua) a través de la superficie de la Tierra. Esto se vuelve más obvio en el caso de las actividades mineras, pero también ocurre como resultado del dragado de ríos y estuarios, la construcción de represas y reservorios, proyectos de transporte de agua entre cuencas, y muchas otras actividades. "El Antropoceno" ha sido propuesto para demarcar un intervalo de tiempo reciente en el cual las actividades humanas se han convertido en la influencia dominante en la modelación de la superficie de la Tierra, pero un debate vigoroso rodea aún los roles relativos de los motores externos naturales (p. ej. la actividad tectónica/volcánica y el cambio climático), reajustes internos y las actividades humanas como influencias en el desarrollo de formas terrestres/paisajes y sedimentos.



Figura 12. Vista aérea oblicua de un típico río sinuoso dentro de una amplia llanura de inundación, cultivada y habitada en Europa occidental. A pesar de que las formas planas sinuosas dan la impresión de meandros activos, el río está actualmente limitado por trabajos de protección de la orilla y no hay meandros (Foto: Stephen Tooth).

¿Sabías qué...

Las estimaciones sugieren que actualmente la cantidad anual de rocas y suelos movidos a través de la superficie terrestre en respuesta a las prácticas agrícolas y de construcción llenarían el Gran Cañón de Arizona (ver Figura 13) en unos 50 años (Fuente: Wilkinson, B.H. 2005. Humans as geologic agents: a deep-time perspective. *Geology*, 33, 161-164).

9

Los paisajes de la Tierra se están volviendo cada vez más peligrosos

Tanto el cambio ambiental global como las actividades humanas están aumentando la magnitud y frecuencia de amenazas geomorfológicas, las cuales ocurren donde y cuando la estabilidad de la superficie terrestre es afectada y se experimentan impactos socioeconómicos adversos. Muchas amenazas geomorfológicas son impulsadas por procesos geomorfológicos de baja frecuencia, alta magnitud y rápida acción (ver punto clave 3), los ejemplos incluyen inundaciones, derrumbes, terremotos y erupciones volcánicas. Otras amenazas pueden resultar de procesos de alta frecuencia, baja magnitud y acción lenta, como por ejemplo la salinización del suelo resultado de la elevación gradual del agua superficial (Figura 13a). Las amenazas han sido un peligro siempre presente a lo largo de la historia de la humanidad, pero creciente evidencia sugiere que el calentamiento atmosférico y el aumento

del nivel del mar podrían estar asociados con incrementos en la magnitud y frecuencia de climas extremos y sus amenazas asociadas, incluyendo inundación, sequía, y posiblemente ciclones/huracanes y marejadas. En algunas regiones montañosas, el retroceso glacial está llevando a un aumento en el número y tamaño de lagos de morrena (Figura 13b), lo cual representa una amenaza porque los diques son vulnerables a rebalsarse o fallar durante terremotos o derrumbes. Debido a la floreciente población humana, cantidades en aumento de actividades humanas están ocurriendo en áreas que son cada vez más vulnerables a uno o más de estos tipos de climas extremos o eventos de falla (p. ej. valles montañosos, llanuras de inundación y zonas costeras bajas) contribuyendo también a un aumento en la magnitud y frecuencia de las amenazas geomorfológicas.

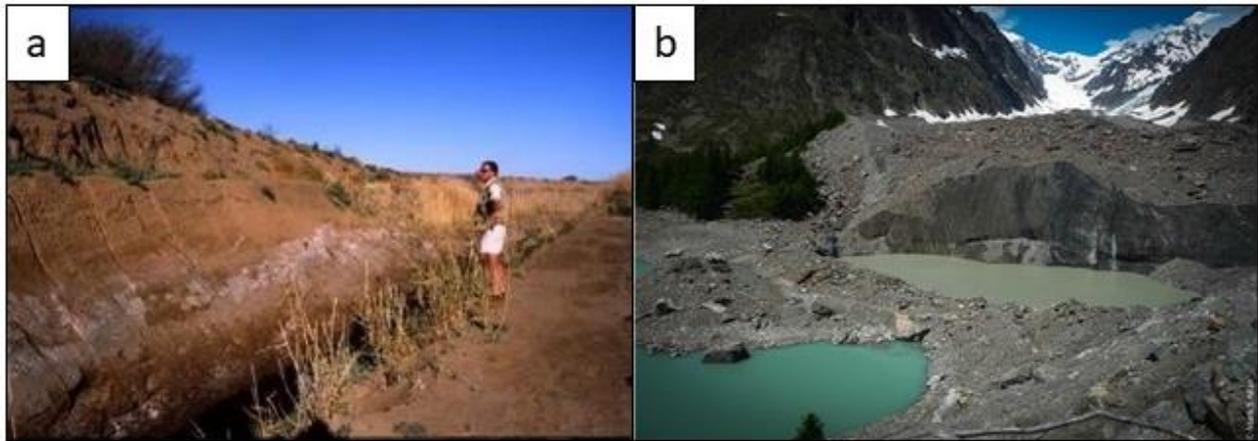


Figura 13. a) Costra blanca indicando la acumulación de sal al costado de una zanja de riego, valle del río Orange, oeste de Sudáfrica (Foto: Stephen Tooth); b) pequeño lago de morrena (Lago del Miage) en los Alpes italianos (Foto: Mark Allan).

¿Sabías qué...

Las inundaciones son una de las amenazas naturales más significativas y extendidas, siendo responsables de algunas de las más grandes pérdidas. Siguiendo varias inundaciones (otoño 2013/ invierno de 2014) en Somerset Levels, al suroeste de Inglaterra, el gobierno del Reino Unido ha financiado un plan de acción contra las inundaciones de los próximos 20 años para el área con £ 20 millones, a pesar de que el costo total se estima que alcanzará los £100 millones (Fuente: The Guardian⁹).

⁹www.theguardian.com/environment/2014/mar/06/uk-government-somerset-levels-20m-flood-plan

10

Una gestión ambiental efectiva necesita conocimientos de la geomorfología

La Geomorfología puede proveer una contribución clave para la gestión ambiental, incluyendo la conservación del paisaje, la conservación y restauración de ecosistemas, conservación del patrimonio y paisajismo de carbono. Las formas terrestres y los paisajes podrían ser conservados por su belleza o rareza intrínsecas, incluyéndolos como parte de la Lista de Patrimonios de la Humanidad de la UNESCO. Algunos ejemplos incluyen el Parque Nacional Gran Cañón, Estados Unidos (Figura 14), el Parque Maloti-Drakensberg, Sudáfrica y el Parque Nacional Los Glaciares, Argentina; estos son lugares en donde las formas terrestres y los paisajes son claves para su inclusión en la Lista, y comúnmente forman la principal atracción para los turistas. Más ampliamente, hoy es mundialmente reconocido que los procesos geomorfológicos y las formas terrestres proveen la plantilla sobre la cual se desarrollan muchos procesos ecológicos y patrones. Por ejemplo, los ríos y llanuras de inundación típicamente exhiben una zonificación de plantas y animales que reflejan diferencias en la frecuencia, profundidad y duración de la inundación (Figura 15). Consecuentemente, un entendimiento de la naturaleza de la geomorfología del río y su llanura de inundación, incluyendo los motores y tasas de desarrollo, pueden ayudar con el diseño de estrategias de conservación para sistemas casi prístinos y con los

planes de restauración para sistemas degradados. Otras aplicaciones de la geomorfología incluyen la comprensión de los procesos de meteorización y tasas para ayudar con el diseño de estrategias de conservación para edificaciones protegidas (Figura 16). En las décadas por venir, la geomorfología probablemente jugará también un rol cada vez más importante en la administración activa de las reservas de carbono terrestre, ya sea a través de la conservación y restauración de paisajes naturalmente ricos en carbono (p. ej. las turberas) pero también mediante un paisajismo más activo que maximice la captura y almacenamiento de carbono (p. ej. la creación de humedales artificiales o paisajes forestados).



Figura 14. Vista del este del Gran Cañón, Arizona, EE. UU, mirando hacia el noroeste desde la villa cercana Grand Canyon, Rim del Sur. El interior del cañón del Río Colorado es visible en el extremo inferior derecho. La espectacular geomorfología forma la pieza central de esta y muchas otras atracciones turísticas populares a nivel mundial (Foto: Stephen Tooth).

Figura 15. Vista aérea de un río efímero en la aridez de Australia central que ilustra la típica zonificación de la vegetación que se ha desarrollado a través de un cauce normalmente seco y su llanura de inundación. Pequeñas inundaciones irregulares proveen humedad a la arena y al ripio en el lecho del canal, mientras que crecidas más grandes inundan tanto el canal como la llanura de inundación. Grandes árboles (principalmente eucaliptos rojos) crecen en el lecho del canal y en las orillas para aprovechar la mayor cantidad de humedad. Los taludes alojan algunos árboles, arbustos y pasturas, mientras que la llanura de inundación sólo presenta una escasa cubierta de arbustos y pasturas. La distribución de la vegetación afecta a los patrones y tasas de movimiento del agua y sedimentos, lo que a su vez influye en las formas y procesos del cauce y la llanura de inundación. Los geomorfólogos están involucrados en la investigación de la naturaleza de estas delicadas interacciones hidro-ecológicas, muchas de las cuales tienen implicancias en el manejo sustentable (Foto: Stephen Tooth).



Figura 16. Figura de piedra caliza erosionada en el exterior de una iglesia en Axbridge, Somerset, Inglaterra. Los geomorfólogos pueden proveer conocimiento acerca de las características de los procesos de meteorización y las tasas de estos sobre las construcciones, ayudando por lo tanto en el diseño de estrategias de conservación (Foto: Stephen Tooth).

¿Sabías qué...

Los suelos constituyen los más grandes depósitos de carbono de la Tierra. Las turberas del hemisferio norte contienen alrededor del 20-30% del carbono en suelo del mundo, a pesar de que sólo cubren 1-1,5% de la superficie mundial libre de hielo. La erosión, desecación e incendio de la turba pueden por lo tanto llevar a una rápida pérdida de carbono de los ecosistemas terrestres y contribuir a incrementar las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera. (Fuente: Evans, M. and Warburton, J. 2010. *Geomorphology of Upland Peat*, Wiley-Blackwell, Chichester).

¿Hay algún caso de estudio de la “vida real” en donde la geomorfología haya sido útil o relevante?

A pesar de que los términos a menudo no se usan explícitamente, la geomorfología y los geomorfólogos regularmente aparecen en artículos online cubriendo artículos periodísticos de la ciencia y la sociedad, así como también en algunos ejemplos más peculiares. Una selección de la BBC incluye:

2013

Alpine Glaciers ‘protect mountain peaks from erosion’
Los glaciares alpinos “protegen los picos de las montañas de la erosión”

www.bbc.com/news/science-environment-23553094

Cornwall Council warn over coastline landslips
El Ayuntamiento de Cornwall advierte sobre derrumbamientos costeros

www.bbc.com/news/uk-england-cornwall-21341342

Pakistan quake island off Gwadar ‘emits flammable gas’
La Isla Terremoto, cerca de Gwadar, Pakistán, “emite gas inflamable”

www.bbc.com/news/world-asia-24272552

Antarctic ice volumen measured
El volumen del hielo antártico es medido

www.bbc.com/news/science-environment-21692423

Mexico storms: Village landslides missing ‘probably dead’
Tormentas en México: Los desaparecidos en el alud de la aldea se presumen muertos

www.bbc.com/news/world-latin-america-24191716

Star Wars home of Anakin Skywalker threatened by dune
Hogar de Anakin Skywalker en Star Wars amenazado por duna

www.bbc.com/news/science-environment-23375344

2014

Communities ‘could be abandoned as seas rise’
Las comunidades “podrían ser abandonadas” debido al aumento de los mares

www.bbc.com/news/uk-wales-26132493

Taiwan’s ‘vanishing canyon’ erasing quake record
El cañón de Taiwán está desapareciendo y borra los registros del terremoto

www.bbc.com/news/science-environment-28810357

¿A dónde puedo dirigirme por más información?

La BSG, British Society for Geomorphology, es una organización profesional para geomorfólogos y provee una comunidad y servicios para aquellos involucrados en la enseñanza o investigación en geomorfología, tanto en el Reino Unido como en el extranjero.

La revista internacional emblemática de la Sociedad, Earth Surface Processes and Landforms, está publicada por Wiley y el acceso en línea está disponible de forma gratuita para los miembros.

www.geomorphology.org.uk

www.geomorphology.org.uk/publications/espl

¿Qué recomendarías como una lectura introductoria?

Goudie, A. S. and Viles, H. A. (2010) *Landscapes and Geomorphology: A Very Short Introduction*. Oxford University Press, 144pp.

Gregory, K. J. (2010) *The Earth's Land Surface: Landforms and Processes in Geomorphology*. SAGE Publications Ltd, 359pp.

Harvey, A. (2012) *Introducing Geomorphology. A Guide to Landforms and Processes*. Dunedin Academic Press, 124 pp.

¿Qué recursos online existen?

Vignettes: Key Concepts in Geomorphology
Viñetas: Conceptos Clave en Geomorfología
<http://serc.carleton.edu/vignettes/index.html>
[Última fecha de acceso: 14 de abril de 2014]

Estas viñetas son casos de estudio electrónicos, ilustrados e independientes que enseñan sobre geomorfología y temas relacionados.

BSG

British Society for Geomorphology