

ACCIÓN HUMANA Y PROCESOS GEOLÓGICOS SUPERFICIALES ¿QUÉ LE ESTAMOS HACIENDO A LA FAZ DE LA TIERRA?

A. CENDRERO *; J. REMONDO *; J. BONACHEA *; V. RIVAS **; J. SOTO ***

* Dpto. Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada

** Dpto. Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio

***Dpto. Ciencias Médicas y Quirúrgicas

Universidad de Cantabria, Santander

ABSTRACT

An assessment of some consequences of human activities on geomorphic processes during the last century is presented. The effects of urban-infrastructure development and mining on direct and indirect denudation and geologic materials transport in several study areas are analysed. The temporal occurrence of landslides is analysed in another study area. Results obtained are compared with data on denudation and sediment transport from the literature, as well as with data on geomorphic disaster trends for the same period.

Data obtained indicate that people are nowadays the main geomorphic agent. “Technological denudation” appears to be one or more orders of magnitude greater than natural denudation or sediment transport rates. The “human geomorphic footprint” or rate of anthropogenic landform construction could reach a total area of continental proportions by the end of the century. The frequency of geomorphic hazard events—at local, national and global levels—has increased about one order of magnitude in half a century and shows exponential growth trends, which appear to be correlated with GDP (gross domestic product).

It is proposed that growing population, wealth and technology (for which GDP can be used as an indicator) is the driving force behind a widespread “global geomorphic change” that affects earth surface processes. The effect of geomorphic change is added to that of climate change and implies an acceleration of landscape evolution rates as well as an intensification

of geomorphic hazards. It is suggested that measures to mitigate geomorphic change should be taken in order to curb the observed trend towards increasing geomorphic disaster occurrence.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo se deriva de trabajos realizados por parte de los autores, ya publicados o en curso de publicación (González Díez et al., 1999; Remondo et al., 2005; Cendrero et al., 2005, Rivas et al., 2006; Cendrero et al., 2006). Tiene por ello un carácter de revisión y recopilación de los anteriores, razón por la cual se ha estimado conveniente incluir una bibliografía amplia.

Existe una conciencia generalizada entre todos los sectores sociales sobre los múltiples e importantes efectos que la actividad humana tiene en la actualidad sobre diferentes características y procesos de nuestro planeta. Esa preocupación no es nueva (Marsh, 1864, 1874; Thomas, 1956), pero es ahora cuando la inmensa mayoría de la población, especialmente en los países industrializados, está familiarizada con temas tales como el cambio climático o la pérdida de biodiversidad. Sin embargo, los efectos de la acción humana sobre aspectos no directamente relacionados con los organismos o el clima, con escasa presencia en los medios de comunicación, son mucho menos conocidos, no solo entre el público en general, sino incluso entre expertos de distintos campos y responsables de la toma de decisiones sobre políticas ambientales.

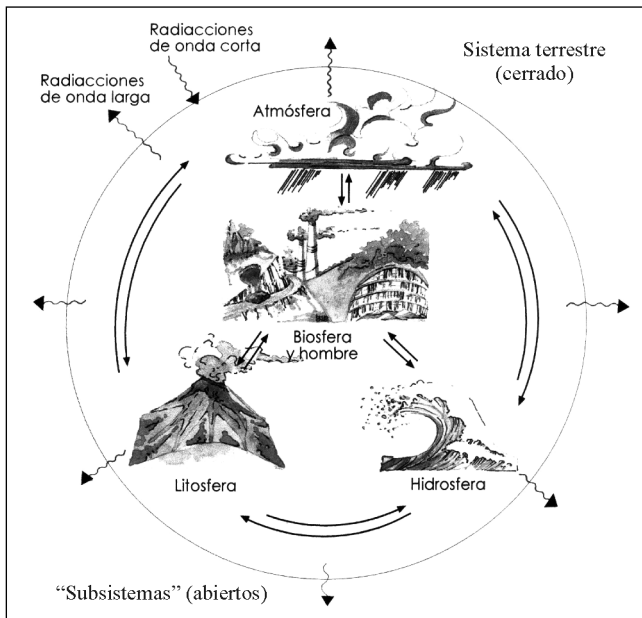


Figura 1. El sistema y los "subsistemas" terrestres (Tarbuck y Lutgens, 2000).

Es importante tener presente en relación con estos temas que el planeta en su conjunto constituye, a efectos prácticos, un *sistema cerrado* en lo que se refiere al intercambio de materia (no de energía) con el exterior. Esto es, la cantidad de materia existente en la Tierra permanece constante, a excepción de la pequeña adición debida al bombardeo de partículas o de meteoritos procedentes del espacio exterior o de las pequeñas pérdidas de componentes ligeros que pueden escapar del campo gravitatorio terrestre. Este sistema terrestre está integrado por una serie de sistemas menores, todos ellos *abiertos*, ya que intercambian entre sí tanto materia como energía (Fig. 1; Tarbuck y Lutgens, 2000).

Los grandes sistemas representados se ven afectados por *ciclos* o conjuntos de procesos que implican flujos de materia y energía dentro del sistema e intercambios con sistemas diferentes. Tenemos así el ciclo de la circulación atmosférica, el ciclo hidrológico, los ciclos biogeoquímicos y el ciclo geodinámico y petrogenético. A estos habría que añadir el sistema humano, con los distintos procesos socio-económicos propios del mismo. El ciclo geodinámico y petrogenético incluye los procesos de formación y evolución de las rocas y del relieve. A primera vista, se puede pensar que la influencia humana sobre este ciclo es mínima; sin embargo, como se comenta más adelante, la acción

antrópica parece estar produciendo fuertes modificaciones en la parte externa del mismo.

De una manera general, el carácter abierto de los sistemas terrestres implica que las acciones ejercidas sobre, o los cambios que afectan a, uno de los sistemas considerados pueden influir sobre cualquiera de los otros o sobre el planeta en su conjunto. Dicha influencia puede producirse a través de una serie de efectos en cadena o en cascada, de modo que la relación entre los cambios observados en un sistema y la causa última de los mismos no siempre es evidente. En este sentido, cabe señalar que las modificaciones del ciclo geodinámico externo tienen su origen en procesos propios del sistema socio-económico y que, a su vez, producen toda una serie de consecuencias ambientales que en general no se perciben como debidas a cambios geomorfológicos.

En contra de lo que habitualmente se piensa, las interferencias humanas en los sistemas naturales, incluyendo las que afectan a los rasgos y procesos geológicos, no son algo reciente, sino que hay ejemplos notables desde épocas históricas antiguas e incluso prehistóricas. Uno de dichos ejemplos es el de las actividades agrícolas en la antigua Mesopotamia. Los extensos cultivos y sistemas de regadío desarrollados por las culturas del llamado "Creciente fértil" dieron lugar a una fuerte intensificación de la erosión y consecuente sedimentación. Ejemplo de esto es la acumulación de sedimentos que actualmente cubre los restos de la antigua Babilonia, en las proximidades de Bagdad, o bien el hecho de que la antigua ciudad de Ur, patria de Abraham y un puerto en la época bíblica, se encuentre en la actualidad a unos 300 km de la costa del Golfo Pérsico. Por otro lado, los intensos regadíos con aguas ligeramente salinas (debidas a que gran parte de las cuencas del Eufrates y el Tigris están constituidas por formaciones geológicas que contienen yesos y otras sales), originaron la progresiva salinización y empobrecimiento de los suelos, lo que disminuyó de manera importante la productividad agrícola y contribuyó a la decadencia de los imperios mesopotámicos.

Otro ejemplo de épocas más recientes es el de la ciudad y puerto de Efeso, un importante puerto comercial de Anatolia hasta el principio de la Era Cristiana. El progresivo cegamiento del puerto por los



Figura 2. La ciudad de Erbil, en el Kurdistán iraquí, “antropo-geoforma” construida por sucesivos niveles de ocupación humana.

aluviones del río Kaystros, provocado en parte por la intensificación de la erosión a causa de los cambios de uso del suelo en su cuenca, llevó a su definitivo abandono en el siglo II A.D. Efeso se encuentra actualmente a unos 6 km de la costa del Mar Egeo. Ejemplos de modificaciones notables en los procesos de denudación y evolución del relieve se han podido constatar en épocas todavía más antiguas, por ejemplo durante el Neolítico en la Cornisa Cantábrica (González et al., 1999).

Pero la influencia humana sobre el ciclo geodinámico externo también se ha manifestado desde tiempos muy antiguos en la construcción de nuevas formas. La Figura 2 muestra la ciudad de Erbil, en el Kurdistán iraquí, ejemplo de elevación de forma tronco-cónica construida como consecuencia de la acumulación de los restos de sucesivas poblaciones a lo largo de siglos. En la zona mesopotámica las estructuras de este tipo, conocidas como “tell”, son numerosísimas. La mayoría de ellas se formaron y abandonaron hace varios milenios pero algunas, como es el caso de Erbil, siguen siendo centros de población en la actualidad.

Naturalmente, la capacidad humana para influir sobre los procesos terrestres superficiales se ha incrementado notablemente en la actualidad, y son multitud los ejemplos del papel de la humanidad como agente geomorfológico o como constructor de nuevas “antropo-geoformas”, ya sean de acumulación (principalmente los grandes complejos urbanos) o de excavación (las grandes explotaciones mineras a cielo abierto). Una medida del significado de los seres humanos como agentes de excavación y transporte de materiales sólidos sobre el planeta nos la proporcionan los datos

sobre consumo de rocas y minerales. De acuerdo con las cifras presentadas por Luttig (1987), el consumo por persona de dichos materiales en Alemania, en 1979, equivalía a 14,5 t/año. El consumo a nivel mundial era aproximadamente 4,5 t/año. Si se tiene en cuenta que la extracción de una cierta cantidad de producto final utilizable requiere la excavación de un volumen considerable de material de cobertera o de estériles, la cantidad realmente excavada ha de ser bastante mayor. A esa excavación se deberá añadir la debida a todo tipo de construcciones, que también representan una contribución importante a la movilización de materiales geológicos y con respecto a la cual existen muy pocos datos.

En lo que sigue se presenta un análisis que trata de establecer, por un lado, la magnitud e importancia relativa de las actividades humanas que directamente actúan como agentes de transporte de materiales geológicos y de creación de nuevas formas superficiales; esto es, las actividades extractivas y de construcción. Dichas actividades están asociadas de forma directa o indirecta a los procesos de expansión de las áreas urbano-industriales e incluyen tanto el crecimiento urbano en sí como las extracciones de distintos materiales o la construcción de infraestructuras. Por otro lado, se intenta determinar cuál es la contribución indirecta de la influencia humana a procesos ligados a la denudación y evolución del relieve, particularmente los deslizamientos de tierras. Se describen además ejemplos de otras consecuencias ambientales de las modificaciones del ciclo geodinámico externo, algunas de las cuales pudiera pensarse a primera vista que no tienen relación con cambios geomorfológicos.

Un indicador importante de la intensidad de los procesos geomorfológicos superficiales que afectan a una zona es la tasa de transferencia de materiales sólidos de una parte de la superficie terrestre a otra. La evolución del paisaje desde el punto de vista geomorfológico está fuertemente determinada por cambios de las formas y distribución de los materiales superficiales debidos a los procesos de erosión-sedimentación. En condiciones normales, la tasa de transferencia de materiales geológicos no tiene consecuencias directas importantes para los seres humanos, si bien algunos efectos indirectos, tales como el aporte de sedimentos a cursos fluviales, embalses o estuarios, son sin duda significativos desde el punto de vista humano.

Otro indicador de la intensidad de la actividad geomorfológica y de su sensibilidad ante la influencia humana es la frecuencia y/o la intensidad de procesos que implican riesgos para las personas, tales como deslizamientos del terreno o inundaciones. Estos procesos tienen, sin duda, un interés muy directo desde el punto de vista humano.

La acción humana sobre los procesos geológicos superficiales se analiza aquí desde los dos puntos de vista indicados. Por un lado, se intenta evaluar lo que representa la influencia humana en los procesos de denudación, transferencia de materiales y sedimentación, a través de actividades que implican la excavación directa y la acumulación de materiales sólidos. Dichas actividades son las relacionadas con la expansión urbana y la construcción de infraestructuras, así como con la extracción de materiales geológicos en general. Por otro lado, se examina la sensibilidad indirecta de los procesos de deslizamiento a los cambios introducidos como consecuencia de las actividades humanas que afectan a la superficie terrestre, resultantes a su vez del funcionamiento del sistema socioeconómico.

Ambos efectos son manifestaciones concretas del papel de la especie humana como agente geomorfológico, y tienen otras implicaciones más amplias.

EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL PAISAJE

La evolución del paisaje desde el punto de vista geomorfológico se debe a la acción de diferentes agentes naturales, que incluyen los movimientos de masas (deslizamientos y otros) y procesos determinados por la acción del viento, el agua y el hielo, siendo la acción del agua, a través de los ríos, la más importante en el conjunto del planeta. El resultado neto de esos procesos es la transferencia de materiales terrestres desde las zonas de denudación a las zonas de acumulación, con la consiguiente atenuación del relieve (sin considerar aquí el efecto de los procesos internos en la formación de nuevos relieves). Pero la evolución del paisaje y del relieve a nivel global también está muy condicionada por la actividad humana, tal como puso de manifiesto Brown (1956) al analizar la magnitud de la “denudación tecnológica”.

Aunque son muy numerosos los trabajos dedicados a analizar los efectos de las actividades agrícolas y forestales sobre los procesos de erosión-sedimentación, son escasos los orientados a estudiar los efectos de otras actividades humanas sobre los procesos geológicos superficiales (Archer et al., 1987; Goudie, 1984, 1993, 1995; Douglas, 1990; Luttig, 1992; Walling, 1996; Brierly y Campbell, 1997; Phillips, 1999; Naredo y Valero, 1999; Slaymaker, 2000), y muy pocos los que analizan el significado geomorfológico de los procesos extractivos o de desarrollo urbano y de infraestructuras (Hooke, 1994, 1999; Douglas y Lawson, 2001 a,b; Rivas et al., 2006).

La transferencia de materiales geológicos en la superficie terrestre está siendo afectada de manera creciente por las actividades humanas, tanto de forma directa, por acciones que implican excavación y acumulación (construcción, minería), como indirecta, a través de la erosión inducida (construcción, minería, agricultura, silvicultura). Esas actividades también implican la construcción de nuevas “unidades geomorfológicas” (Cendrero et al., 1987), con formas, materiales y procesos característicos de cada una de las mismas (excavaciones y acumulaciones mineras, zonas construidas, etc).

Las actividades que implican la excavación y acumulación de materiales terrestres también acentúan los procesos de erosión, contribuyendo así, de manera adicional e indirecta, a la transferencia de materiales, generación de sedimento y evolución de las formas del terreno (Wolman y Schick, 1967; Wolman, 1967; Dunne y Leopold, 1978; Sowa et al., 1990; McClintock y Harbor, 1995; Walling, 1996; Trimble, 1997; Harbor, 1999; Rawat et al., 2000; Lu, 2005). Hace medio siglo Brown (1956) sugirió que la “denudación tecnológica” (entendiendo por tal la movilización de materiales terrestres a través de excavaciones de distinto tipo) podría alcanzar una tasa de 3.3 mm a^{-1} en un planeta con treinta mil millones de personas. Si esa estimación fuera correcta, sin duda podría representar una contribución muy significativa a la evolución del paisaje y a los procesos geológicos superficiales.