

# **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).

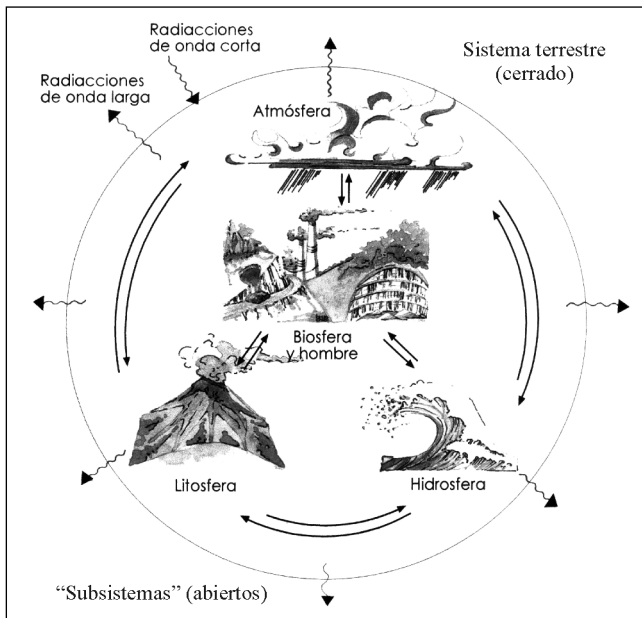
It is proposed that growing population, wealth and technology (for which GDP can be used as an indicator) is the driving force behind a widespread “global geomorphic change” that affects earth surface processes. The effect of geomorphic change is added to that of climate change and implies an acceleration 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  $3.3 \text{ mm a}^{-1}$  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.

Con el fin de evaluar la importancia de las contribuciones humanas a los procesos de transferencia de

materiales geológicos y de evolución de las formas superficiales, se ha llevado a cabo un análisis de varias zonas de estudio (Rivas et al., 2006). Las estimaciones que presentan los citados autores proporcionan una cierta idea de la importancia de esa contribución en comparación con los procesos naturales. Una de las áreas de estudio seleccionadas corresponde a un país industrializado (valle del Besaya, España) y tres a un país emergente (la Plata, Mar del Plata y Río Cuarto, en Argentina). La naturaleza de las zonas de estudio, así como la metodología utilizada se describen en el citado trabajo, presentándose aquí solamente una breve descripción de los resultados

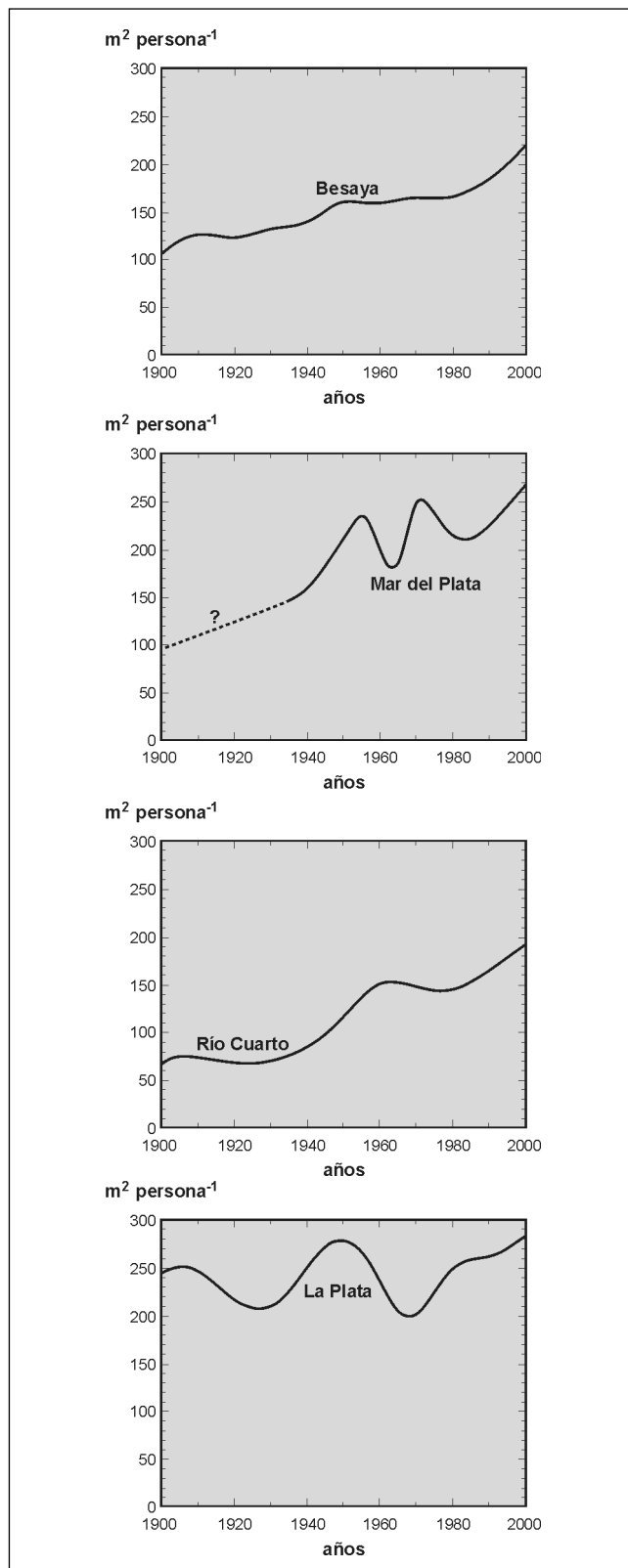
El efecto de las actividades de construcción y extractivas sobre los procesos geológicos superficiales puede analizarse determinando su contribución a la transferencia de materiales y a la creación de nuevas “antropogeofomas”. La movilización de materiales geológicos producida por esas actividades se puede expresar como:

$$MR = DER_{ui} + DER_{mq} + IDR_{uimq}$$

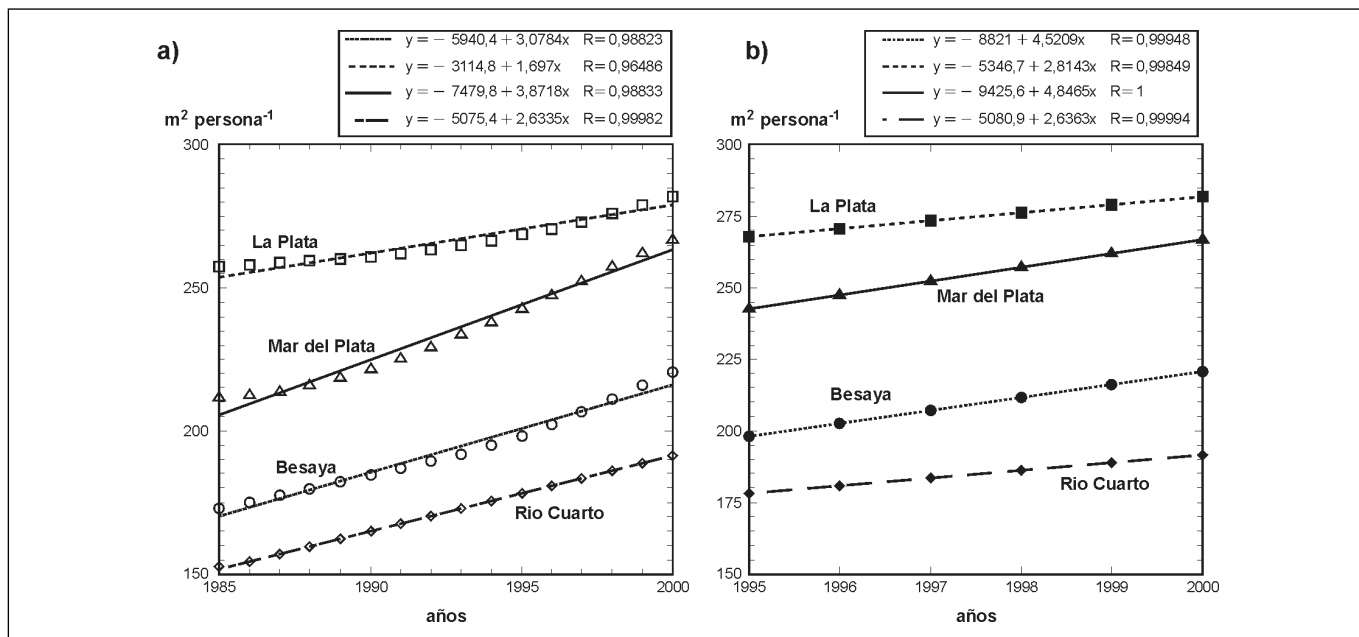
Siendo: MR=tasa de movilización o de transferencia; DER=tasa de excavación directa; IDR=tasa de denudación indirecta en las zonas perturbadas por excavación o acumulación; u=urbanización; i=infraestructura; m=minería; q=canteras. Todos los términos pueden expresarse como  $m^3 m^{-2} a^{-1}$  o bien  $mm a^{-1}$ .

La contribución a la generación de nuevas geofomas puede expresarse por medio de la *huella geomorfológica* (superficie de “antropogeofomas” construidas y volumen de materiales movilizados por persona y año; Rivas et al., 2006): Este concepto de huella geomorfológica está en cierto modo relacionado con el de *huella ecológica* (Wackernagel y Rees, 1996), pero tiene un significado bastante distinto.

Para las zonas de estudio analizadas se determinó la extensión de las áreas urbanas por medio de mapas topográficos y fotografías aéreas de diferentes fechas del siglo XX. Igualmente se obtuvieron los datos de población a partir de los censos correspondientes. Se pudo calcular así el espacio urbano “per capita” a lo largo del periodo analizado. En la figura 3 se muestran los resultados. Las tasas de ocupación del territorio por la expansión urbana (o tasa de construcción de “antropogeofomas”) se calcularon para los períodos 1985-2000 y 1995-2000 y se presentan en la figura 4.



**Figura 3.** Evolución del uso de espacio urbano per capita (superficie urbana dividida por el número de habitantes) en cuatro zonas de estudio: valle del Besaya, España; La Plata, Mar del Plata y Río Cuarto, Argentina (Rivas et al., 2006).



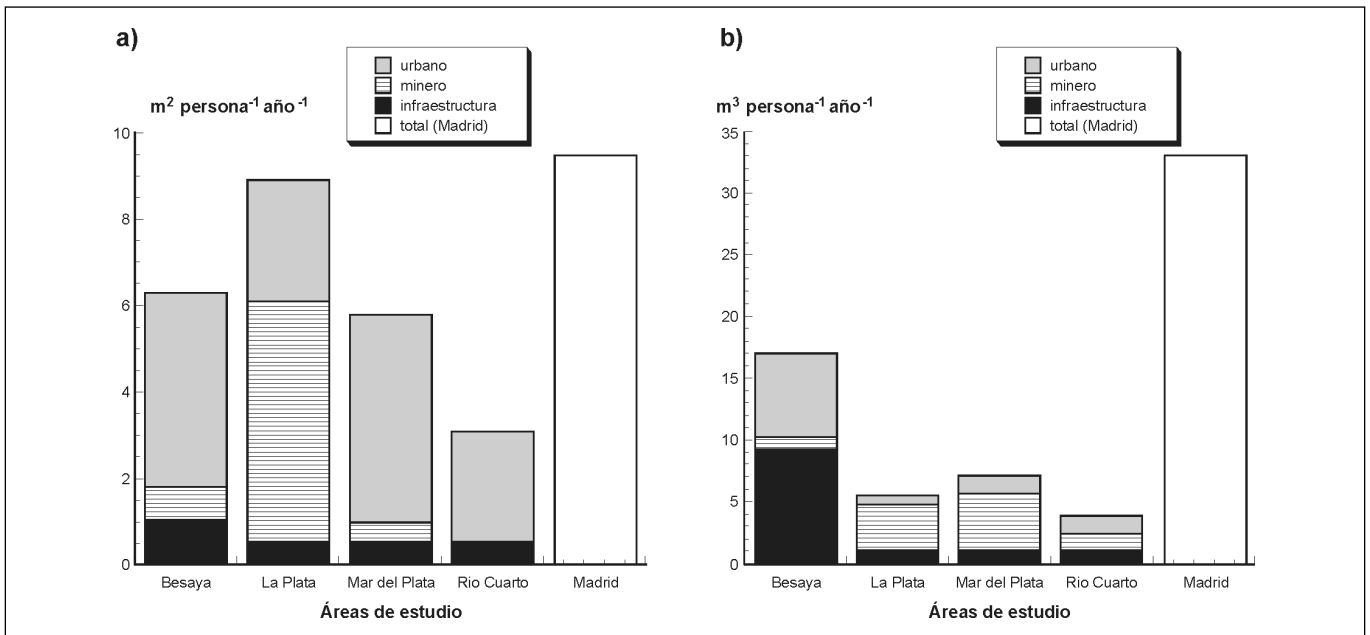
**Figura 4.** Tasa de ocupación de superficie urbana para los períodos 1985-2000 (a) y 1995-2000 (b) (Rivas et al., 2006).

A pesar de la irregularidades que presentan los resultados para alguna de las áreas de estudio, probablemente debidas en parte a la diferente naturaleza de los datos utilizados (valores anuales para la población y períodos irregulares, condicionados por la disponibilidad de mapas o fotos, para la superficie urbana), resulta claro que la ocupación de espacio urbano “per capita” ha aumentado con el tiempo, alcanzando tasas entre 2.5 y 5 m<sup>2</sup> pers<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> a finales del pasado siglo (Fig. 4). Esto es posiblemente consecuencia del aumento en el nivel de riqueza, siendo las zonas más prósperas (Besaya, Mar del Plata) las que presentan tasas más altas. La profundidad promedio de excavación para los distintos tipos de zonas urbanas se determinó también en las áreas de estudio, con lo que se pudo hacer una estimación de los volúmenes excavados en cada caso. Dado que la profundidad promedio de excavación también ha aumentado con el tiempo (edificios más altos, cimentaciones más profundas, más niveles de sótanos, más servicios soterrados, etc.), aunque no ha sido posible obtener cifras exactas, está claro que la tasa de crecimiento del volumen excavado ha tenido que ser mayor que la relativa a la superficie ocupada. En resumen, la *huella geomorfológica*, expresada como tasa de creación de nuevas “antropogeoformas” o como volumen de materiales geológicos excavados por acción deliberada y directa, crece con el tiempo, reflejando una mayor

capacidad humana para intervenir sobre la superficie terrestre (más personas, con mayor nivel de riqueza y de tecnología, lo que equivale a un mayor producto bruto).

Las actividades extractivas también representan una contribución importante a la huella geomorfológica. Por tanto, también se obtuvieron los datos relativos a esas actividades en las distintas zonas de estudio, en unos casos por medio de fotografías aéreas y trabajo de campo y en otros a partir de los registros de las compañías mineras. Finalmente, se obtuvieron igualmente los datos relativos a las superficies y volúmenes afectados por la construcción de infraestructuras. El procedimiento y los datos obtenidos se detallan en Rivas et al. (2006). La figura 5 presenta un resumen de los resultados, entre los cuales se ha incluido, con fines comparativos, los datos presentados para la región de Madrid por Naredo (2002).

Las zonas afectadas por excavaciones o acumulaciones, en las cuales se elimina la vegetación y los materiales geológicos son profundamente perturbados y disgregados, son mucho más susceptibles a la erosión. La erosión inducida en ese tipo de superficies en las distintas zonas de estudio se estableció a través de determinaciones directas o de estimaciones indirectas basadas en la USLE (Wischmeier y Smith,



**Figura 5.** Tasas per capita de superficie utilizada (a) y volumen excavado (b) para actividades urbanas, de infraestructura y extractivas en las cuatro zonas de estudio, para el período más reciente disponible en cada una de ellas (Cendrero et al., 2006).

1978) así como a partir de la literatura (Marelli et al., 1985; Nogués, 1987; Arce, 1988; Edeso et al., 1991; Díaz de Terán et al., 1992; Cantú et al., 1996; Cendrero, 2003; Rivas et al., 2006). Finalmente, con el fin de comparar la magnitud de las contribuciones humanas directas e indirectas a los procesos analizados con las debidas a procesos naturales, se hicieron determinaciones y estimaciones y se obtuvieron datos sobre tasas de erosión en zonas no perturbadas (Nani et al., 1980; Salas, 1993; Cendrero et al., 1994; González-Díez et al., 1996, 1999; Becker et al., 2002; Bujan et al., 2003).

En la Tabla 1 se resumen los resultados expresados en  $mm \text{ a}^{-1}$ , como si los volúmenes producidos por excavación o por erosión inducida sobre las zonas perturbadas se distribuyeran uniformemente sobre cada zona de estudio, lo cual, evidentemente, no es cierto, pero facilita las comparaciones. Está claro que en todas las zonas de estudio el proceso de movilización de materiales se debe fundamentalmente a la excavación directa. La erosión indirectamente inducida sobre las áreas perturbadas, a pesar de que representan una proporción pequeña de cada zona de estudio, parece estar generando tanto sedimento —o

ZONAS	EXCAVACIÓN DIRECTA <sup>(1)</sup>	EROSIÓN INDUCIDA <sup>(1)</sup>	EROSIÓN ACTUAL <sup>(2)</sup>
Besaya	3	0.05-0.25	0.01
La Plata	3.3	0.02	0.01
Mar del Plata	2.7	0.01	0.01
Rio Cuarto	9.5	0.09	0.05
Otra Pampa húmeda			0.01

(1) El material movilizado en las zonas perturbadas se expresa como si estuviera uniformemente distribuido sobre toda la zona de estudio

(2) En condiciones "casi naturales".

**Tabla 1.** Comparación entre las tasas de movilización ( $mm \text{ a}^{-1}$ ) por acción humana directa e indirecta y la denudación natural en cuatro zonas de estudio (Rivas et al., 2006).

Región	Tasa sup. (m <sup>2</sup> pers <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	Tasa vol. (m <sup>3</sup> pers <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	Superficie total (km <sup>2</sup> a <sup>-1</sup> )	Volumen total (×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> a <sup>-1</sup> )	Tasa movilización (mm a <sup>-1</sup> )
España	7.9	30.4	316	1216	2.4
Argentina	5.93	6.4	213	230	0.08
Mundo (?)	6.91	18.4	41,460	110,400	0.83

\* Los valores para el mundo son una estimación grosera, suponiendo que las tasas mundiales se sitúan en algún punto entre las correspondientes a una economía industrializada y una emergente.

**Tabla 2.** Huella geomorfológica total debida a actividades de construcción y extractivas (valores aproximados\*). (Modificado a partir de Rivas et al., 2006).

incluso más— como la erosión natural sobre el conjunto de dichas zonas. Esto es, la influencia humana sobre los procesos geológicos superficiales y la evolución geomorfológica del relieve en esas zonas parece ser determinante, siendo la contribución de los procesos naturales bastante secundaria.

Las zonas de estudio analizadas tienen una densidad de población superior a la media mundial. Por tanto, para tener una idea de la importancia relativa de la influencia humana a nivel global es preciso hacer algunas extrapolaciones basadas en la contribución “per capita” a los procesos considerados. Los efectos “per capita” de las actividades de construcción se dejan sentir esencialmente dentro de las áreas de estudio consideradas. Sin embargo, una proporción considerable de los materiales extraídos por medio de actividades mineras, y utilizados de manera directa o indirecta por los habitantes de una región, puede proceder de zonas muy alejadas. Esto se refiere fundamentalmente a los minerales metálicos e industriales no existentes en las zonas de estudio y, por tanto, no incluidos hasta ahora en el análisis. Para determinar la contribución “per capita” a la movilización de materiales por medio de la minería de esas sustancias, se utilizaron los datos de las estadísticas mineras de Argentina, España y mundiales (Naredo y Valero, 1999; SEGEMAR, 2002; IGME, 2002). La contribución correspondiente a estas actividades se añadió a la obtenida directamente en las zonas de estudio, con el fin de obtener la huella geomorfológica total, que se resume en la Tabla 2. Hooke (1994, 1999) presenta resultados bastante similares, aunque algo menores, para la excavación directa de materiales geológicos. Por su parte, Adriaanse (1997), Eurostat (2002), Carpintero (2003) y Arto (2003) presentan datos sobre

el uso de materiales de origen no biológico en países industrializados que oscilan entre 33 y 76 t pers<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Los tipos de materiales considerados por estos autores no son directamente comparables a los que se emplean en el presente análisis, pero los valores que presentan se sitúan claramente en el mismo orden de magnitud que los nuestros.

Resulta interesante comparar las tasas presentadas más arriba con las obtenidas por distintos autores para los procesos naturales de denudación, en lugares y condiciones bastante distintas (Tabla 3). Las comparaciones deben hacerse con cuidado y tienen una validez limitada. Los valores que nosotros hemos obtenido tienen un margen de incertidumbre y deben considerarse como válidos en cuanto al orden de magnitud. Esa incertidumbre también existe en lo relativo a las tasas de los procesos naturales proporcionadas por los otros autores. Además, la naturaleza de los procesos no es la misma, ya que la denudación natural afecta a la superficie terrestre en conjunto, mientras que la acción humana directa e indirecta se concentra en una proporción limitada de la misma.

Si las cifras presentadas anteriormente —que reflejan la situación en un país industrializado y en uno emergente— son correctas y más o menos representativas del posible rango de valores, tendríamos que la “denudación tecnológica” a la que se refería Brown (1956), es aproximadamente un orden de magnitud superior —o más— que la denudación natural. Esto es, los procesos geológicos superficiales que implican la transferencia de materiales sólidos sobre la superficie terrestre y la evolución del relieve desde el punto de vista geomorfológico, parecen estar controlados esencialmente, en su aspecto cuantitativo, por las activi-



Autor (año)	Lugar	Tasa	Observaciones
Clark y Jagger (1964)	Alpes	0.004-1	
Corbel (1964)		0.03-0.15	Zonas templadas húmedas-subhúmedas
Leopold et al. (1964)	Mundo	0.027	
Eardly y Viavant (1967)	Utah	0.14-0.067	
Ruxton y McDougall (1967)	Papua	0.06-0.8	
Strakhov (1967)		0.03-0.08	Grandes cuencas fluviales
Young (1974)		0.1-0.5	Zonas de montaña
Owens y Watson (1979)		0.01-0.05	Zonas bajas
Selby (1982)	Valle del Mississippi	0.04	
Judson (1983)	Mundo	0.06	A partir de datos originales en bruto
Judson (1983)	Mundo	0.025	Contribución natural
Saunders y Young (1983)	Mundo	0.01-1	
Crocier (1984)	Nueva Zelanda	0.03-0.5	Zonas de bosque
Cendrero y Díaz de Terán (1985)	Canarias	0.27	
Benito et al. (1991)	Galicia	0.01	
Summerfield y Hulton (1994)	Mundo	0.004-0.68	Grandes cuencas de drenaje
Nava (1995)	Bárdenas Reales	4-10	
Hallet et al. (1996)	Regiones Glaciares	0.01-100	
Briggs et al. (1997)	Mundo	0.065	A partir de datos originales en bruto
Gellis et al. (2004)	Nuevo México	0.05-1.5	
Latrubesse et al. (2005)	34 ríos tropicales	0.002-2.0	A partir de aporte de sedimentos
Renwick et al. (2005)	Ohio	0.1-1	
Sigha-Nkamdjou et al. (2005)	Camerún	0.005-0.1	

**Tabla 3.** Tasas de denudación ( $\text{mm a}^{-1}$ ) según distintos autores (Leopold et al., 1964; Douglas, 1990; Summerfield y Hulton, 1994; Goudie, 1995; Hallet et al., 1996; Remondo, 2001; Gellis et al 2004; Renwick et al., 2005; Sigha-Nkamdjou et al., 2005, Latrubesse et al., 2005).

dades humanas analizadas, que estarían contribuyendo en más de un 90% a la denudación total de la superficie terrestre.

De acuerdo con las estimaciones presentadas, la *huella geomorfológica humana*, probablemente equivale a la actualidad a unos  $40.000 \text{ km}^2 \text{ a}^{-1}$  (Rivas et al., 2006). Si se tiene en cuenta la tendencia al aumento de esa huella “per capita” y al crecimiento de la población, la superficie total de nuevas “antropo-geoformas” podría alcanzar proporciones continentales hacia fin de siglo, probablemente del orden de  $5\text{-}10 \times 10^6 \text{ km}^2$ . El volumen movilizado, actualmente del orden de  $10^{11} \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$ , seguramente aumentará de forma todavía más acusada. Parece por tanto que estas actividades han adquirido en la actualidad una importancia cualitativa y cuantitativa muy considerable a nivel global.

## EFFECTOS AMBIENTALES INDIRECTOS DE LA INFLUENCIA HUMANA SOBRE LOS PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS

El aumento de las tasas de creación de nuevas geoformas y del transporte de materiales sólidos sobre la superficie terrestre puede parecer, a primera vista, poco significativo desde el punto de vista del bienestar humano. Sin embargo, como se pone de manifiesto en los efectos que brevemente se describen a continuación, los procesos “antropo-geomorfológicos” citados tienen una gran variedad de consecuencias ambientales con importantes implicaciones para la sociedad. En unos casos son efectos de naturaleza esencialmente local y ligados de manera bastante estrecha a las modificaciones descritas en las zonas de estudio; en otros casos los efectos se manifiestan en áreas amplias y de manera mucho más difusa,

afectando a los procesos generales de erosión y sedimentación y a ciertos riesgos naturales.

### Inestabilidad de geoformas artificiales

Las excavaciones y acumulaciones artificiales pueden constituir formas inestables, tal como se ha puesto de manifiesto en numerosas ocasiones, a veces de forma dramática. Un ejemplo notable fue el deslizamiento de una escombrera de estériles de una mina de carbón en Aberfan (Reino Unido) en 1967, que causó la muerte de más de un centenar y medio de personas, la mayoría niños de una escuela que fue arrasada por la masa deslizada. Más próximo en el tiempo y el espacio fue el derrumbe de la presa de estériles de Aznalcóyar, en Andalucía, que si bien no causó víctimas humanas originó enormes daños ambientales.

Al menos dos casos de inestabilidad ligados a actividades mineras se han producido en una de las zonas de estudio descritas, la del Besaya. En 1961, una acumulación de estériles de la mina de Reocín se deslizó, afectando a varios edificios y produciendo la muerte de 16 personas. En los alrededores de Polanco el colapso de cavidades subterráneas producidas por la extracción de sal afectaba a 27.000 m<sup>2</sup> en 1957, a 50.000 m<sup>2</sup> en 1985 y a una superficie bastante mayor (no cuantificada) en la actualidad. Esos colapsos no han producido muertes, pero sí daños a diversos edificios e infraestructuras.

### Salud y seguridad humanas

Las cavidades producidas por explotaciones a cielo abierto, especialmente cuando se abandonan, pueden presentar riesgos para la salud y seguridad de la población, distintos de los derivados de eventuales derrumbes. Una investigación basada en noticias de prensa (Hurtado et al., 2001; Rivas et al., 2006) ha puesto de manifiesto que en un periodo de 10 años se produjeron en los alrededores de La Plata al menos 22 muertes por distintos accidentes en dichas excavaciones abandonadas, la mayoría por ahogamiento en las aguas que en ellas se acumulan. Otras fuentes señalan que el número de muertos puede incluso duplicar la cifra anterior. Aunque no hay datos sobre el número de heridos o de dolencias (y eventualmente

muertes) causados por esas aguas contaminadas o por los vectores de enfermedades presentes en ellas, existe una clara constancia de la existencia de ambos. Se tiene así que las nuevas formas creadas favorecen la acumulación de aguas y de residuos contaminantes y, consecuentemente, la aparición de los riesgos citados.

### Contaminación de aguas subterráneas

Las acumulaciones de sustancias contaminantes en las excavaciones artificiales también representan importantes focos potenciales de contaminación para los acuíferos subterráneos, entre otras cosas porque la eliminación del suelo de la superficie reduce la capacidad filtrante y de depuración del terreno. En la zona de Mar del Plata se ha constatado que la contaminación de los acuíferos (expresada como contenido en nitratos), si bien parece deberse sobre todo a actividades agrícolas, también muestra relación con la presencia de acumulaciones de escombros y residuos diversos que se producen en las excavaciones abandonadas (Cionchi, 1994; del Río et al, 2003).

### Erosión urbana e inundaciones

La transformación del terreno por el proceso de urbanización modifica la escorrentía superficial y, consecuentemente, la erosión y sedimentación, en especial en zonas de calles y caminos sin asfaltar, que son los que predominan en las áreas de expansión urbana de los países en vías de desarrollo. Entre las consecuencias de esos cambios se encuentran la formación de cárcavas y el aumento del riesgo de inundaciones.

Un análisis efectuado en la ciudad de Río Cuarto (Eric et al., 1995; Cantú et al., 1996) ha mostrado que en menos de 10 años se formaron en algunas calles sin asfaltar cárcavas de hasta 2,8 m de profundidad que ocupaban casi toda la anchura de la calle. Se han llegado a formar, en una sola tormenta, cárcavas de 0,5 m de profundidad y 3,5 m de anchura. Esto representa un serio problema para el acceso a las viviendas y para el transporte, con serias consecuencias sociales y económicas. El aumento de la escorrentía en estas zonas ha dado también lugar a un incremento de la frecuencia y gravedad (incluyendo al menos 3 muertes en los últimos 10 años) de las inundaciones que afectan a

las áreas urbanas. Un episodio particularmente significativo tuvo lugar en 1991 en la población de General Cabrera, cercana a Río Cuarto, con motivo de una tormenta que descargó 230 mm en 12 horas. Las aguas canalizadas a lo largo de los nuevos caminos de acceso a la población originaron una gran cárcava de 1,5 km de longitud y hasta 7 m de profundidad, que abarcaba toda la anchura del camino. Los materiales así erosionados se depositaron sobre una zona de más de 10 hectáreas con un centenar de viviendas, que fueron cubiertas por más de 1 m de sedimento. Dicha acumulación de sedimento dio lugar a la elevación del nivel freático y a la aparición de grietas en numerosos edificios (entre otros una escuela y una iglesia) varios meses más tarde.

Es importante señalar que la citada tormenta, aunque de una intensidad poco frecuente, no constituye un hecho excepcional; al menos otras dos tormentas de magnitud similar se habían producido en los últimos 50 años, si bien ninguna de ellas tuvo similares consecuencias. La principal diferencia entre la situación reciente y las anteriores reside en el cambio “antropo-geomorfológico” representado por la nueva red de calles y carreteras sin pavimentar. Ese cambio contribuye a desestabilizar el sistema geomorfológico, el cual pasa a ser más sensible a los efectos de los agentes naturales y a amplificar su respuesta a los mismos. Ejemplos de este tipo de respuesta se presentan más adelante en relación con otros procesos.

#### Formación de humedales

La acumulación de agua en las cavidades creadas por las actividades extractivas también puede tener efectos ambientales positivos, tales como la evolución de dichos espacios hacia lagunas o humedales muy similares a los naturales. De Francesco et al. (2001) han identificado en una zona de la provincia de Buenos Aires unas 50 excavaciones abandonadas parcial o totalmente ocupadas por agua y con estructura y dinámica casi iguales que los humedales naturales. La evolución hacia esa situación casi natural se ha producido en la mayoría de los casos en unas pocas décadas. En la zona de Mar del Plata, desde 1960, se han eliminado 3,16 km<sup>2</sup> de humedales naturales. Durante el mismo periodo se produjeron 5 km<sup>2</sup> de depresiones artificiales (110 excavaciones), de las

cuales cerca de 3 km<sup>2</sup> (67 excavaciones) están en la actualidad ocupados por agua de forma permanente o estacional y unos 2 km<sup>2</sup> (41 excavaciones) parecen haber evolucionado hacia condiciones similares a las descritas por De Francesco et al. (2001), compensando así en parte la pérdida de espacios naturales equivalentes.

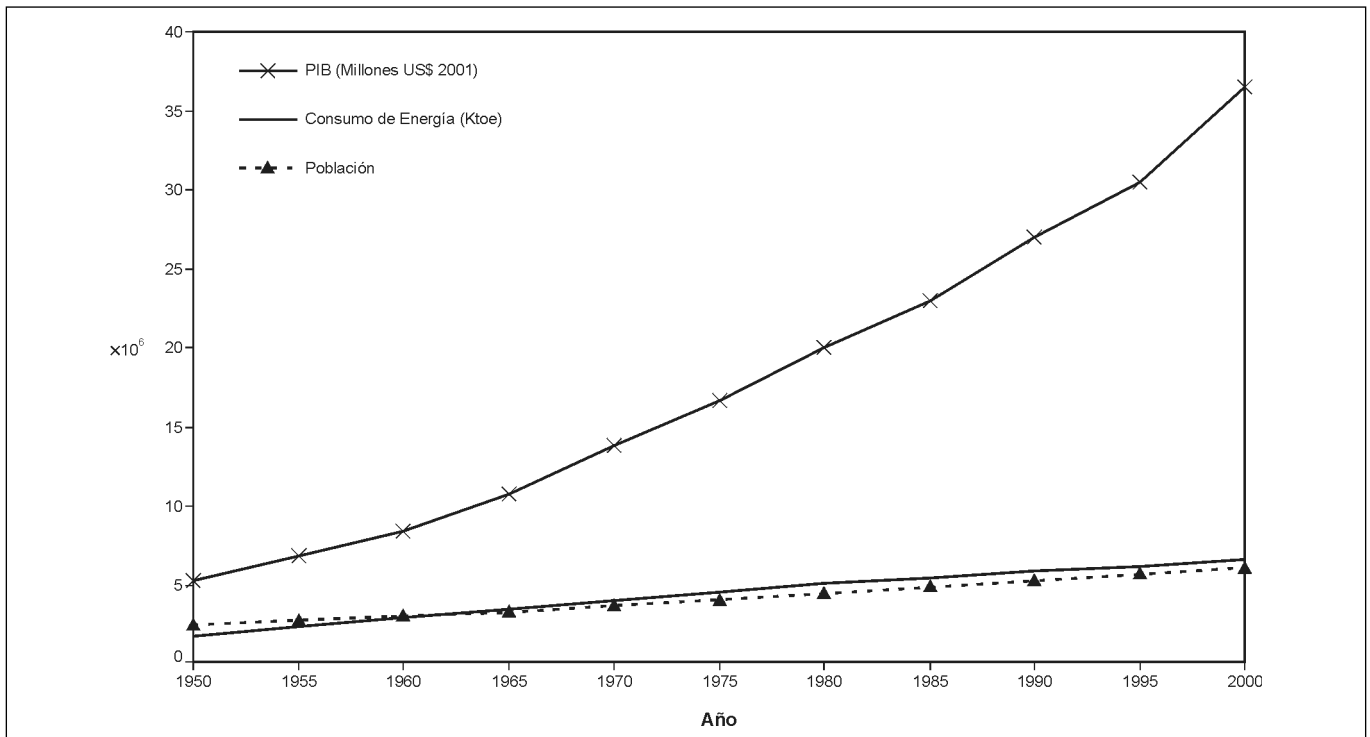
#### Productividad de los suelos

Las modificaciones geomorfológicas descritas también afectan a la capacidad del medio para cumplir su función como fuente de recursos, particularmente los que se basan en la productividad del suelo. La excavación de canteras implica la eliminación de todo el perfil del suelo y una pérdida total de la productividad agrícola. Este proceso ha afectado en la zona de La Plata a 4,5 km<sup>2</sup>. Mucho más extendida es la decapitación de suelos o extracción del horizonte superficial para la elaboración de ladrillos, que ha afectado a 138,8 km<sup>2</sup>. En esos casos no hay una pérdida total, pero sí una reducción muy importante de la productividad. Las determinaciones realizadas por Giménez et al. (2002) muestran que esa reducción oscila entre 85% y 98%.

Las actividades extractivas y de construcción han afectado en el municipio de La Plata a 278 km<sup>2</sup>, de los cuales 215 km<sup>2</sup> corresponden a suelos de alta calidad, casi la mitad de los 457 km<sup>2</sup> existentes. La tasa de afectación en los últimos 35 años ha sido de 1,97 km<sup>2</sup>/año, por lo que si el proceso continua a un ritmo similar en el futuro (y todo indica que probablemente aumentará), la práctica totalidad de los suelos productivos habrá desaparecido en el municipio dentro del presente siglo.

### **PROCESOS SUPERFICIALES Y RIESGOS RELACIONADOS**

Lo que se ha presentado hasta ahora indica, por un lado, que la acción humana se ha convertido en un agente geológico superficial de importancia creciente (especialmente en las últimas décadas) y, por otro lado, que las modificaciones que esa acción introduce en los rasgos y procesos geomorfológicos tienen efectos indirectos diversos y significativos desde el punto de vista



**Figura 6.** Evolución de la población, consumo de energía y producto bruto mundiales para el período 1950-2000 (Groningen Growth and Development Centre and The Conference Board, Total Economy Database, August 2005, <http://www.ggdc.net>; United Nations Population Division, October 2005, <http://www.un.org/esa/population/unpop.htm>; International Energy Agency, October 2005, <http://www.iea.org/>).

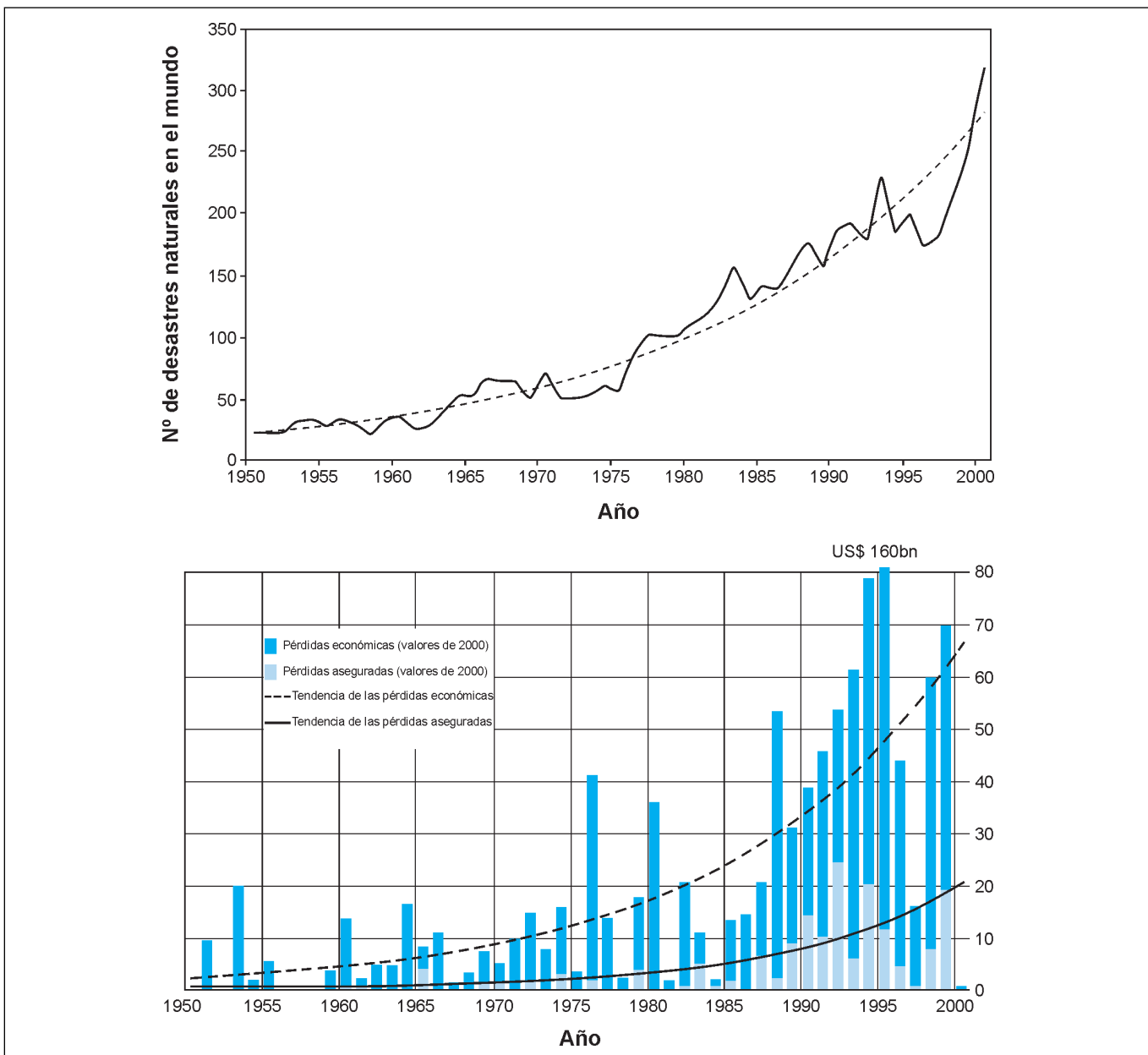
humano. Pero posiblemente los efectos indirectos más importantes sean los relativos a procesos geológicos superficiales que implican riesgos para las personas.

Algunos datos sobre indicadores relativos a aspectos socio-económicos y de riesgos naturales proporcionan ciertas claves al respecto. La figura 6 muestra la evolución de la población, el consumo de energía y el producto bruto mundiales durante el pasado siglo.

Entre 1950 y 2000 la población se ha multiplicado aproximadamente por 2,4, el consumo de energía por 4 y el PIB mundial por 6,8. Esto revela una clara mejoría en la gestión de los sistemas productivos, cada vez más industrializados, con un aumento en la productividad por unidad de energía consumida y, todavía mayor, por persona. Por su parte, la figura 7 (EM-DAT, 2005; Munich Re, 2005) muestra los datos sobre desastres naturales y daños producidos por los mismos. El número de desastres naturales se ha multiplicado en el mismo periodo por aproximadamente 12 y los daños materiales por 25-30. Es pues evidente que la gestión de los procesos geológicos que afectan a la superficie

terrestre y que implican riesgos ha empeorado de manera significativa. Tanto el número de eventos catastróficos como los daños que producen han aumentado de forma mucho más acusada que los indicadores socio-económicos relacionados con ellos. Si la gestión de los riesgos geológicos a nivel global hubiera permanecido más o menos en el mismo nivel de eficiencia, lo esperable sería que los daños aumentaran aproximadamente lo mismo que el PIB (más elementos expuestos darían lugar a más daños). ¿Es posible que la marcada tendencia al aumento de los daños tenga algo que ver con los cambios en los procesos geológicos superficiales?

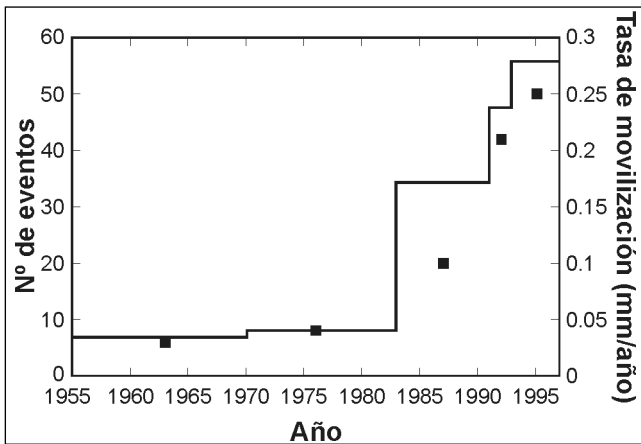
Un análisis llevado a cabo sobre la frecuencia de los deslizamientos en una zona de estudio del valle del río Deva (Guipúzcoa) durante la segunda mitad del pasado siglo proporciona alguna información al respecto. Dichos datos reflejan los deslizamientos producidos en la zona de estudio entre 1954 y 1997. Los detalles sobre el método utilizado se han descrito por parte de Remondo et al. (2003a; 2005). La figura 8, que representa la variación de la frecuencia con el



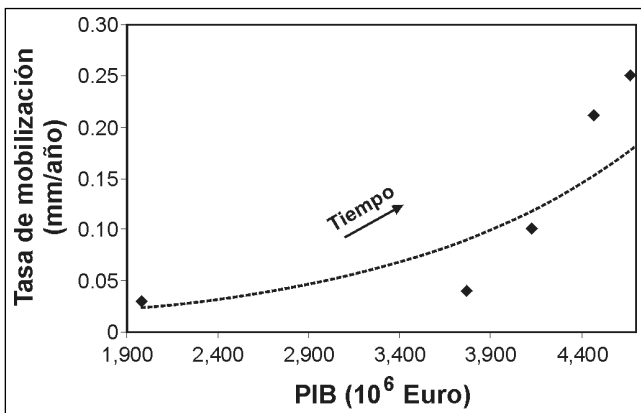
**Figura 7.** Número de catástrofes naturales (EM-DAT, 2005) y de daños producidos por las mismas (Munich RE, 2005) en el mundo durante 1950-2000.

tiempo, indica que se ha producido un aumento de aproximadamente un orden de magnitud en medio siglo. Los datos climáticos para esa zona (Diputación Foral de Guipúzcoa, 1999; Remondo, 2001) no proporcionan una explicación satisfactoria de la tendencia observada. Sin embargo, sí parece haber algún tipo de relación con la intensidad de la influencia humana, a juzgar por lo que se muestra en la figura 9. Aunque la correlación entre las variables representadas está lejos de ser ideal, los datos sugieren que la relación entre

ambas variables puede no ser una simple coincidencia. El producto interno bruto (PIB) es un indicador de la capacidad humana para intervenir sobre la superficie terrestre. Un aumento del PIB (total, no “per capita”) refleja un aumento de la población y de su capacidad económica y tecnológica. Esta creciente capacidad normalmente se traduce en más urbanización, construcción de infraestructuras y explotación de materiales geológicos, así como en el uso de tecnologías agroforestales más intensivas. Todo ello implica una



**Figura 8.** Frecuencia y tasa de movilización por deslizamientos en el bajo valle del Deva durante la segunda mitad del siglo XX. (a partir de datos en Remondo et al., 2005).



**Figura 9.** Correlación entre la tasa de movilización por deslizamientos y el PIB en la zona del bajo Deva (Remondo et al., 2005).

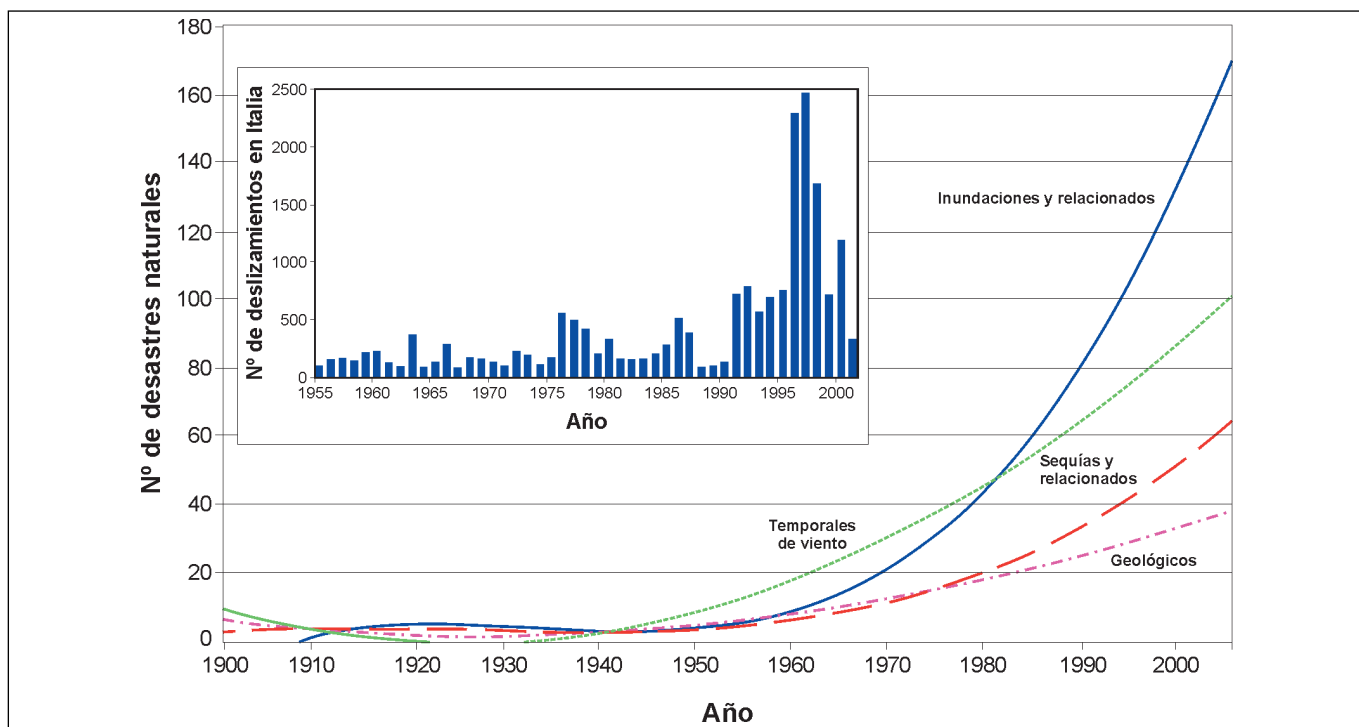
modificación creciente de la superficie terrestre, lo que facilita la aparición de deslizamientos.

Remondo (2001) señala que al menos 7% de los deslizamientos inventariados durante el período analizado fueron claramente desencadenados por influencia humana directa, y que otro 25% presenta evidencias de posible influencia humana. Pero la acción humana, aparte de actuar como desencadenante de los deslizamientos, produce también otros cambios más sutiles y extensos, no siempre evidentes (modificaciones de la capa superficial por el uso de tecnologías agrarias intensivas, repetidos cambios de uso del suelo, modificación del drenaje y de la escorrentía superficial así como variaciones en las condiciones de las capas saturada e insaturada debidos a la construcción de

viviendas y a cambios en la red de caminos y carreteras, etc.), que pueden afectar a la resiliencia de la capa superficial, aumentando su sensibilidad ante los agentes desencadenantes naturales (en esta zona, fundamentalmente las lluvias intensas). Esta es la explicación más probable de las diferencias entre el gran número de deslizamientos acaecidos durante las fuertes lluvias de agosto de 1983 y el número mucho menor que se produjo durante lluvias similares de los años 50 y 60.

Lo que se acaba de describir ¿representa algo de significado meramente local o acaso refleja una tendencia más general? Si la relación sugerida fuera cierta, se debería encontrar también en otras zonas y a escalas diferentes. En la figura 10 se muestra la variación en el número de deslizamientos en Italia a lo largo del pasado siglo (Guzzetti y Tonelli, 2004), así como el número de desastres naturales de distinto tipo en el mundo (EM-DAT, 2005). La tendencia que se observa en Italia es muy similar a la obtenida para la zona de estudio del Deva (Fig. 8). Por su parte, los datos globales muestran un aumento marcado en todos los tipos de desastres a partir de mitad de siglo. Este aumento puede ser en parte aparente, como consecuencia de mejoras en la recogida de datos, o atribuible al hecho de que los elementos expuestos (personas, edificios, infraestructuras, etc.) han ido aumentando también, lo cual debería dar lugar a un mayor número de episodios considerados como desastres (esto es, con daños) aunque los procesos como tales no hayan experimentado ningún cambio. Esta es posiblemente la explicación del crecimiento relativamente moderado de los desastres “geológicos” (principalmente terremotos y erupciones volcánicas, procesos que evidentemente no se ven modificados de manera significativa por la influencia humana). Puede ser una coincidencia pero el crecimiento en el caso de estos desastres es el mismo que el del PIB mundial para el mismo período.

Todos los demás desastres, relacionados con factores climáticos, muestran aumentos mucho más acusados, que no pueden explicarse por mejoras en la recogida de datos o aumentos de la exposición. Lo más probable es que reflejen el cambio climático, que implica una mayor frecuencia de episodios extremos (IPCC, 1996, 2001; UNEP, 1997; Moreno, 2005). Pero sin lugar a duda el aumento más marcado se observa



**Figura 10.** Número de deslizamientos en Italia (Guzzetti y Tonelli, 2004) y tendencias polinómicas para los grandes tipos de catástrofes naturales en el mundo (EM-DAT, 2005).

en el caso de los desastres que podemos catalogar como hidrogeomorfológicos (inundaciones y relacionados, que incluyen los deslizamientos). La comparación entre los datos globales y los relativos a Italia y a la zona del Deva muestra una interesante similitud. ¿Es acaso una simple coincidencia o bien las tres gráficas reflejan el mismo tipo de relación entre las fuerzas motrices de tipo socio-económico (población, tecnología y economía, expresadas a través del PIB) y una sensibilidad creciente —o resiliencia decreciente— de los sistemas geomorfológicos? Si esto último es correcto, el fuerte aumento en los desastres debidos a “inundaciones y relacionados” que se aprecia en la figura 10 podría ser el resultado del cambio climático Y TAMBIÉN del *cambio geomorfológico global*, ambos impulsados por el actual modelo de desarrollo económico.

## ¿UN NUEVO MODELO DE EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA?

Los resultados presentados más arriba sugieren que los procesos geológicos superficiales han experimentado un cambio considerable durante el pasado

siglo, especialmente desde el final de la Segunda Guerra Mundial, periodo a partir del cual se produjo un gran desarrollo industrial, acompañado de una fuerte expansión demográfica y económica. El cambio reseñado parece reflejar una influencia humana creciente en dichos procesos, que se traduce en una mayor sensibilidad de los sistemas geomorfológicos y un marcado crecimiento de las tasas de ciertos procesos. Manifestación concreta de lo anterior es la creciente *huella geomorfológica* (tanto “per capita como, sobre todo, total), que refleja el aumento de la capacidad de intervención humana (expresada a través del PIB). En concreto, en lo referente a los procesos de denudación, parece que la “denudación tecnológica”, especialmente si consideramos tanto la excavación directa como la erosión inducida, es con gran diferencia el factor que más contribuye a la denudación a nivel global.

Otra posible forma de evaluar la importancia relativa de la acción humana como agente geomorfológico es comparar la citada “denudación tecnológica” con el transporte de sedimentos a los océanos por parte de los ríos, que constituyen el principal agente geomorfológico de transporte. La Tabla 4 presenta los valores

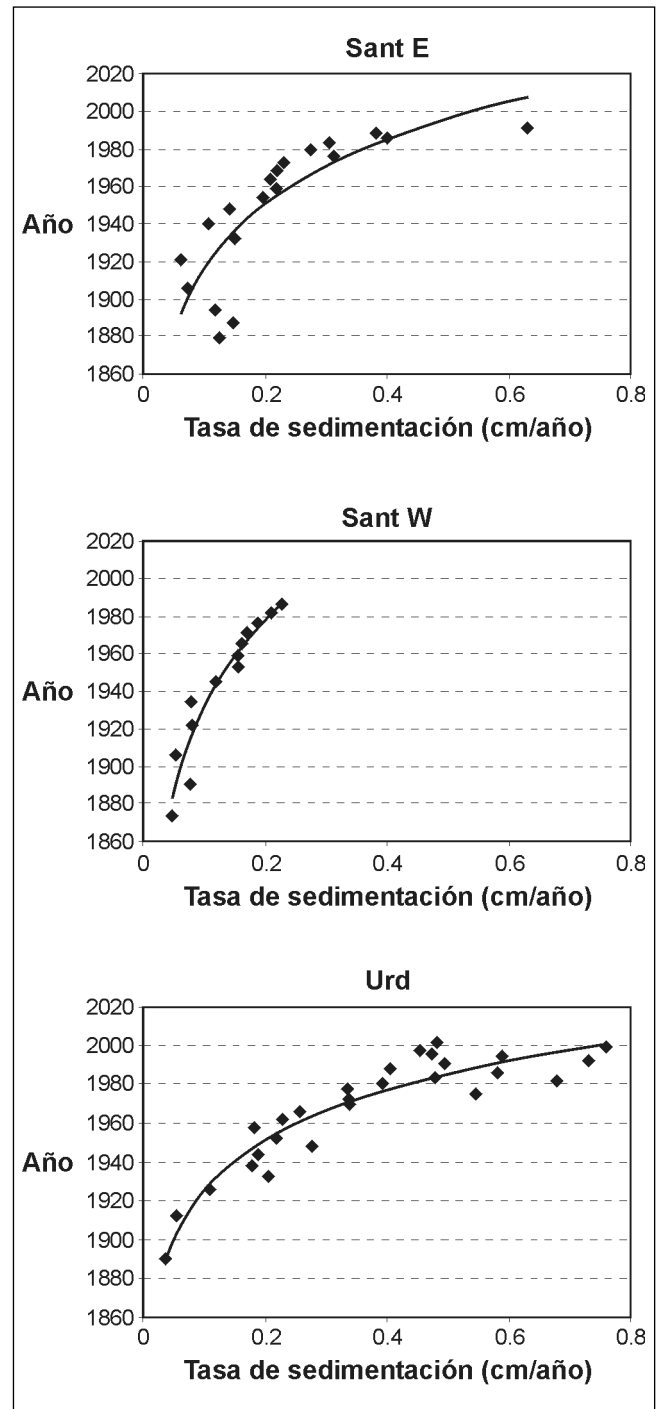
Autores	$\times 10^6 \text{ t a}^{-1}$
Lopatin (1950)*	17,500
Kuenen (1950)+	32,500
Fournier (1960)+	58,000
Barth (1962)	3,800
Schumm (1963)+	20,500
MacKenzie y Garrels (1967)+	8,300
Judson (1968)	24,000
Holeman (1968)+	18,300
Holland (1978)	20,000
Judson (1983)^	9,300
Milliman y Meade (1983)	13,505
Milliman y Syvitski (1992)	10,000-20,000
Syvitski et al. (2005)	15,500-Pre humano
Syvitski et al. (2005)	17,800-actual

^ solamente sedimento producido naturalmente  
 \* no incluye carga de fondo  
 + solamente carga sólida

**Tabla 4.** Aporte de sedimentos ( $\times 10^6 \text{ t a}^{-1}$ ) a los océanos (de: Judson, 1983; Hay, 1998; Syvitski et al., 2005).

de dicho transporte proporcionados por diferentes autores. Debe tenerse presente que la denudación en zonas altas de las cuencas fluviales no es necesariamente equivalente al sedimento que se aporta a la desembocadura. Por ello, la cantidad de materiales erosionados en un momento dado en una región puede ser bastante distinta que la que se descarga en ese mismo período por los ríos correspondientes (Trimble, 1981; Meade, 1982; James, 1989; Marcus y Kearny, 1991; Slaymaker, 1993), aunque, en último término, el sedimento será transportado al mar. Teniendo esto presente y que los ríos no son el único agente de transporte de sedimentos, aunque sí el más importante, resulta interesante comparar los datos de la Tabla 4 con los de la Tabla 3. Ambos conjuntos de datos son esencialmente del mismo orden de magnitud. Esto es, la contribución humana a la transferencia de materiales sobre la superficie terrestre parece ser un orden de magnitud —o incluso más— superior al transporte fluvial de sedimentos (o al transporte total; Hay, 1998).

Teniendo en cuenta otras actividades, tales como las agrícolas y forestales, cuya influencia se incluye en parte en los valores de las Tablas 3 y 4, y a las que parece corresponder cerca de la mitad de la carga total de sedimentos en los ríos (Judson, 1983; Hay, 1998), la importancia de los seres humanos como agente geológico superficial resulta todavía mayor. Parece



**Figura 11.** Tasa de sedimentación en tres puntos de muestreo en estuarios de la costa norte de España (Remondo et al., 2005).

que el sistema geomorfológico montaña-río-cuenca de sedimentación, que ha sido el principal agente de transporte de materiales sólidos en la superficie terrestre hasta tiempos muy recientes, ha sido sustituido en gran medida por el sistema “antropogeomor-

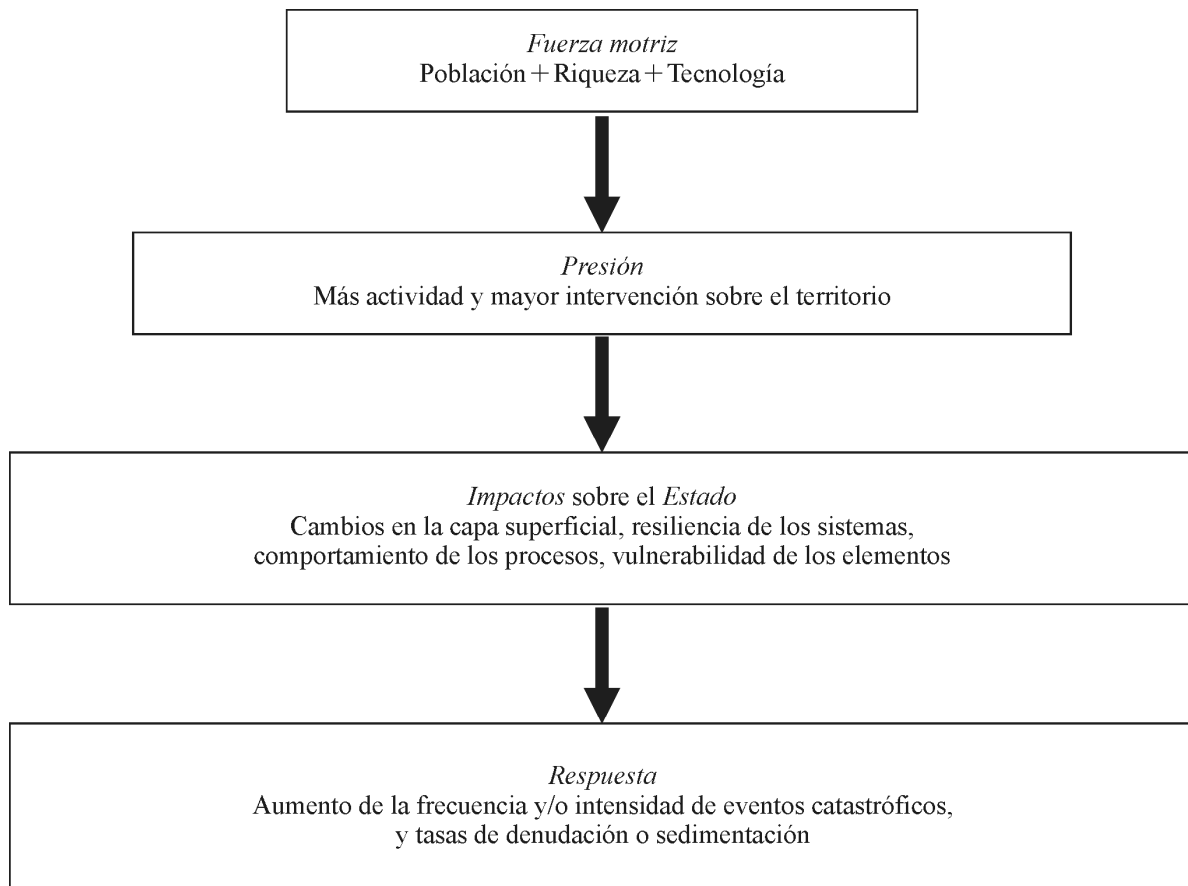


fológico” cantera/mina-carretera/ferrocarril-aglomeración urbana/industrial (Sánchez de la Torre, 1983). Si eso es así, la cuestión que tal vez debemos plantearnos no es si la acción humana influye de forma importante en los procesos geológicos superficiales y la evolución del relieve, sino hasta qué punto los procesos geomorfológicos naturales son cuantitativamente significativos en la actualidad en lo referente a la transferencia de materiales y a la tasa de generación de nuevas formas.

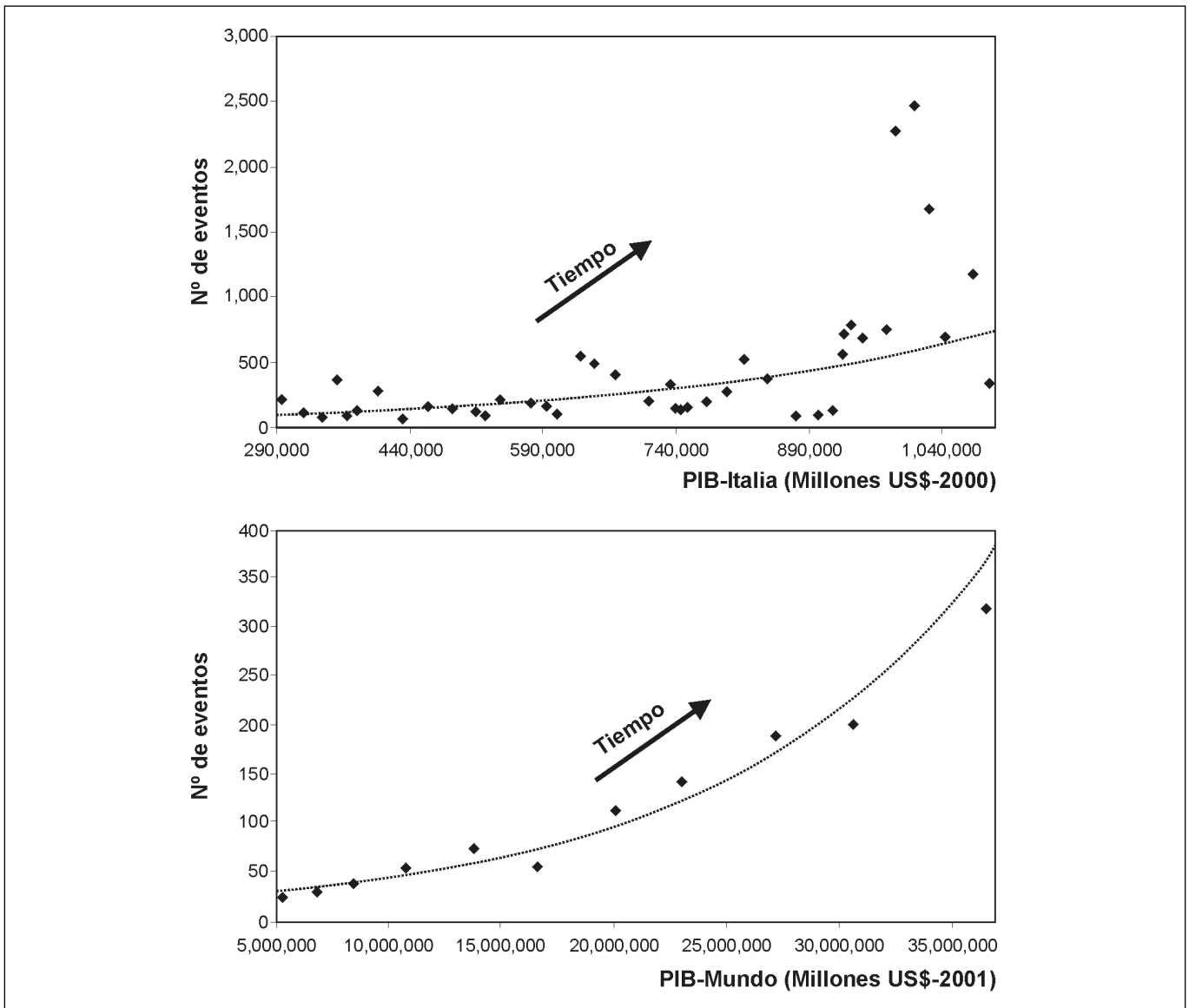
La capacidad humana para intervenir sobre la superficie terrestre puede estar dando lugar a una degradación y desestabilización de los sistemas geomorfológicos, lo cual puede ser la causa del aumento de las tasas de distintos procesos. Esto ha sido puesto de manifiesto también por parte de Glade (2003) en Nueva Zelanda, donde los cambios de uso del suelo subsiguientes a la colonización europea fueron “el factor más importante que dio lugar al desencade-

namiento de deslizamientos” y al consiguiente aumento de las tasas de sedimentación en lagos, humedales y estuarios (con un factor de aumento entre 1.6 y 18.2). Un ejemplo claro de la desestabilización de otro tipo de procesos geomorfológicos como consecuencia de actividades humanas es el presentado por Knox (2001), que ilustra la sensibilidad de la frecuencia y magnitud de las inundaciones ante cambios debidos a actividades humanas.

Como se ha mostrado más arriba, parece que la influencia humana en el valle del río Deva ha aumentado la sensibilidad de la capa superficial del terreno a los agentes desencadenantes de los deslizamientos, aumentando la frecuencia de éstos. Si eso es así y teniendo en cuenta que los movimientos de masas son un importante mecanismo de denudación, sería de esperar también un aumento significativo en el resultado final de los procesos geomorfológicos, las tasas de sedimentación.



**Figura 12.** Posible cadena de efectos entre fuerzas motrices socio-económicas y respuesta de los sistemas geomorfológicos. Cada paso probablemente implica un efecto multiplicador (Cendrero et al., 2006).



**Figura 13.** Relación entre PIB y número de deslizamientos en Italia, así como “inundaciones y desastres relacionados” en el mundo (datos de Guzzetti & Tonelli, 2004; EM-DAT, 2005 y de Groningen Growth and Development Centre and The Conference Board, Total Economy Database, August 2005, <http://www.ggd.net>).

Esto es precisamente lo que revela la figura 11, que muestra las tasas de sedimentación obtenidas en algunos estuarios del norte de España, de valles distintos al del río Deva. Aunque los periodos cubiertos y el tipo de datos obtenidos son diferentes de los relativos a los movimientos de masas, está claro que los incrementos en las tasas de sedimentación son de un orden similar al observado en las tasas de deslizamiento. La tendencia al aumento de las tasas con el tiempo es bastante clara en ambos casos, lo que sugiere que la relación entre influencia humana creciente (expresada a través del PIB) y la aceleración de

los procesos geomorfológicos, también se produce en estos valles y no es una coincidencia o un efecto meramente local. La influencia humana en los procesos de sedimentación, en distintos contextos, es algo que se ha puesto de manifiesto por parte de numerosos autores (entre otros trabajos recientes, Gellis et al., 2004; Renwick et al., 2005; Sigha-Nkandjou et al., 2005; Syvitski et al., 2005).

¿Será tal vez que estamos ante una cadena de efectos crecientes como la que se muestra en la Figura 12? La fuerza motriz de tipo socio-económico podría

estar dando lugar a una creciente *huella geomorfológica humana*, con una intensificación de las tasas de generación de “antropogeofomas”, de transferencia de materiales superficiales y de evolución del relieve, así como una creciente sensibilidad (o resiliencia decreciente) de los sistemas geomorfológicos, con la consiguiente aceleración de las tasas de diferentes procesos. La similitud en el tipo de relación entre PIB y número de eventos a escalas nacional (Italia) y global (Figura 13) y local (Deva, Figura 9), sugiere que posiblemente eso sea lo que está ocurriendo.

Según comentan Brierly y Stankoviansky (2003) “whether land use change or climate change is the main trigger of accelerated erosion-accumulation processes in long term landscape evolution remains uncertain ..... however ..... it is clear that ... land use changes decrease the boundary resistance of landscape to change”. Esos cambios aumentan la sensibilidad de la capa superficial y amplifican los efectos de variaciones climáticas relativamente pequeñas. Los resultados que se presentan aquí sugieren que los cambios producidos directamente, o inducidos indirectamente por la actividad humana, han representado en las últimas décadas el principal agente controlador del funcionamiento de los procesos geológicos superficiales y de la evolución del paisaje desde el punto de vista geomorfológico. En otras palabras, los procesos superficiales parecen haber sido afectados en mucha mayor medida por el cambio geomorfológico que por el cambio climático.

Tal vez debamos plantearnos si el actual modelo de evolución geomorfológica constituye una novedad en la historia del planeta. Hasta entrado el siglo XX, el agente más importante para el funcionamiento de los procesos geológicos superficiales y la evolución del relieve era el agua. Desde mediados del pasado siglo parece que los seres humanos hemos pasado a ser, con gran diferencia, el principal agente geomorfológico y que las tasas de los procesos han aumentado uno o más órdenes de magnitud. De ser esto correcto, habríamos pasado de un modelo geomorfológico “pre-industrial” a otro “post-industrial” (Rivas et al., 2006), significativamente distinto tanto cualitativa como cuantitativamente.

Teniendo en cuenta lo anterior, deberíamos ser extremadamente cuidadosos en la evaluación de las

amenazas y los riesgos debidos a procesos superficiales. Ese tipo de evaluaciones se basan habitualmente en el análisis del comportamiento de los procesos en el pasado, determinación de tendencias, elaboración de modelos y extrapolación hacia el futuro para hacer predicciones; es lo que podríamos denominar “la suposición actualista” (Cendrero et al., 2006). Los datos que aquí se presentan sugieren que esa suposición puede no ser adecuada y que la intensidad de los procesos geológicos superficiales, así como la frecuencia y magnitud de los eventos extremos, podrían aumentar de manera considerable durante el presente siglo. Parece por tanto conveniente mejorar nuestra comprensión de las relaciones entre procesos socio-económicos y geomorfológicos, a fin de ajustar nuestros análisis a ese posible “nuevo modelo geomorfológico”, para tratar de mejorar la calidad de nuestros pronósticos.

Parece que, al igual que con el cambio climático, podemos estar ante un acoplamiento entre desarrollo económico y “cambio geomorfológico global”, el cual se manifiesta en una creciente huella geomorfológica humana, una aceleración de las tasas de los procesos geológicos superficiales y una intensificación de los riesgos debidos a los mismos. Si eso se confirmase, sería necesario diseñar y poner en práctica medidas encaminadas a lograr un desacoplamiento entre ambos tipos de procesos. La importancia de trabajar en ese sentido es evidente a la vista de los datos presentados sobre el aumento que en las últimas décadas han experimentado los eventos catastróficos y los daños debidos a riesgos naturales. Tal vez deberíamos pensar en poner en marcha una especie de “Protocolo de Kyoto” encaminado a mejorar la gestión de la superficie terrestre, para implantar modelos y prácticas de uso del territorio mejor adaptadas al funcionamiento de los procesos geológicos superficiales.

---

## REFERENCIAS

1. ADRIAANSE A. (1997) - Resource flows: the material basis of industrial economies. World Resource Institute, Washington, D.C.
2. ARCE A. (1988) - La ría de San Martín de la Arena. Análisis histórico-económico de sus distintos asentamientos portuarios. Tesis de Licenciatura. Escuela

- Superior de la Marina Civil, Universidad de Cantabria.
3. ARCHER A. A., LUTTIG G. W., SNEZZHKO I. I. (eds.) (1987) - Man's dependence on the earth; the role of geosciences in the environment. UNESCO-UNEP, Paris.
  4. ARTO I. (2003) - Requerimientos totales de materiales en el País Vasco. *Economía Industrial*, 351 (3), 115-128.
  5. BECKER A. R., CANTÚ M. P., OSSANA J. I., GRUMELLI M. (2002) - El escurrimiento y las pérdidas de suelos por erosión hídrica laminar bajo diferentes sistemas de labranza, en la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba. XIX Congreso Nacional del Agua de Argentina. CD., 10 pp.
  6. BRIERLY G. J., STANKOVIANSKY M. (eds.) (2003) - Special Issue on Geomorphic Responses to Land Use Changes. *Catena*, 51 (2-3), 173-347.
  7. BRIERLY G. J., CAMPBELL P.M. (1997) - European impacts on downstream sediment transfer and bank erosion in Cobargo catchment, New South Wales, Australia. *Catena*, 31 (1-2), 119-136.
  8. BROWN H. (1956) - Technological denudation. In: Thomas W.L. (ed.), *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. Univ. of Chicago Press, Chicago, pp. 1023-1032.
  9. BUJAN A., MASSOBRIO M., CASTIGLIONI M., YÁNEZ M., CIALLELLA H., FERNÁNDEZ J., SANTANATOGLIA O. J., CHAGAS C. (2003) - Soil erosion evaluation in a small basin through the use of  $^{137}\text{Cs}$  technique. *Soil and Tillage Research*, 69 (1-2), 127-137.
  10. CANTÚ M. P., DEGIOVANNI S. B., VILLEGAS M. B., ERIC C. F., SCHIAVO H. F., BECKER A. R. (1996) - Impacto de la actividad humana sobre los procesos geomorfológicos en la ciudad de Río Cuarto, República Argentina. Primer Taller Latinoamericano del Proyecto ESPROMUD-Programa SCOPE del ICSU y IUGS. Bogotá, 12 pp.
  11. CARPINTERO O. (2003) - Los requerimientos totales de materiales en la economía española. Una visión a largo plazo: 1955-2000. *Economía Industrial*, 351 (3), 27-58.
  12. CENDRERO A. (2003) - De la comprensión de la historia de la tierra al análisis de las interacciones entre seres humanos y medio natural. *Real Academia de Ciencias*, Madrid, 77 pp.
  13. CENDRERO A., ELÍZAGA E., GALLEGO E. (1987) - Los problemas de la integración de las áreas metropolitanas en los análisis y cartografía geoambiental. III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Valencia, Volumen Comunicaciones, 49-56.
  14. CENDRERO A., DÍAZ DE TERÁN J. R., FARIAS P., FERNÁNDEZ S., GONZÁLEZ-DÍEZ A., JIMENEZ M., MARQUÍNEZ J., MENÉNDEZ R., SALAS L. (1994) - Temporal distribution and contribution of landslides to landscape evolution from Late Pleistocene to Present in the Cantabrian Cordillera, Spain. In: Casale R., Fantechi R. & Flageollet, J.C. (eds), *Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community*. European Commission, Brussels, EUR 15805 EN, pp. 425-506.
  15. CENDRERO, A., J. REMONDO, J. BONACHEA, V. RIVAS, J. SOTO (2006, aceptado). - Sensitivity of landscape evolution and geomorphic processes to direct and indirect human influence. *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria*.
  16. CENDRERO, A., V. RIVAS, J. REMONDO (2005) - Influencia humana sobre los procesos geológicos superficiales; consecuencias ambientales. En: *Incidencia de la especie humana sobre la Tierra (1955-2005)*. J.M. Naredo (ed.) Univ. De Granada - Fundación César Manrique: 261-306
  17. CIONCHI, J.L. (1994) - El estado actual de los acuíferos en el barrio Parque Hermoso y zonas adyacentes (Partido de General Pueyrredon) Informe RH1/94 Obras Sanitarias Sociedad de Estado, Mar del Plata: 60 p.
  18. DE FRANCESCO, F.O., SCHNACK, J.A., SCHNACK, E.J., COLADO, U.R., NOVOA, M.L., DELAVAUULT, G. (2001) - Humedales artificiales en la llanura pampeana, provincia de Buenos Aires, Argentina. Tipología y aspectos ambientales. Actas III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, I del Area del Mercosur, Mar del Plata. En CD, isbn987-544-003-5 pp 9.
  19. DEL RÍO, J.L., CIONCHI, J.L., GONZÁLEZ, J., MARTÍNEZ ARCA, J., BÓ, M. J. (2003) - Evaluación del riesgo de contaminación de acuíferos mediante una aproximación paramétrica en el Partido de General Pueyrredon, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Rev. Asoc. Arg. De Geol. Aplic. a la Ing y al Ambiente*. 20:1-10.
  20. DÍAZ DE TERÁN J. R., FRANCÉS E., DUQUE A., CENDRERO A. (1992) - Indicators for the assessment of environmental impacts from small industrial installations; application to an asphalt agglomerate plant in northern Spain. In: Hermellin M. (ed.), *Environmental Geology and Applied Geomorphology in Colombia*. AGID-Univ. EAFIT, Medellín, pp. 121-134.
  21. DIPUTACIÓN FORAL DE GUIPÚZCOA (1999) - Estudio de precipitaciones intensas, tiempos de concentración y caudales de cálculo de las cuencas del Territorio Histórico de Gipúzkoa. Documento no. 6.

- DFG, San Sebastián, Spain.
22. DOUGLAS I. (1990) - Sediment transfer and siltation. In: Turner B. L., Clark W. C., Kates R. W., Richards J. F., Mathews J. T. & Meyer W. B. (eds.), *The Earth as transformed by human action*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., pp. 215-234.
  23. DOUGLAS, I., LAWSON, N. (2001) - Material flows due to mining and urbanisation. In: R.U. Ayres & L.W. Ayres (eds.) *Handbook of Industrial Ecology*, Edward Elgar, Cheltenham: 351-364.
  24. DOUGLAS, I., LAWSON, N. (2001) - Material flows for mining and quarrying. In: I. Douglas (ed.) *Causes and consequences of global environmental change (Volume 3 of Munn, T. (ed.) Encyclopedia of Global Environmental Change)*. Wiley, Chichester: 454-461.
  25. DUNNE T., LEOPOLD L.B. (1978) - *Water in Environmental Planning*. Freeman, N.York, 818 p.
  26. EDESO J. M., GONZÁLEZ M. J., MARAURI P., MERINO A., LARRIÓN J. A., ZULUETA I. (1991) - Repercusiones de los cambios de uso del suelo en la pérdida de recursos ambientales y la dinámica del ecosistema. *Escuela Ingeniería Técnica Industrial y Topografía*. Universidad del País Vasco, Vitoria.
  27. EM-DAT (2005) - The OFDA/CRED International Disaster Database. Web: [www.em-dat.net](http://www.em-dat.net) - Université Catholique de Louvain, Brussels.
  28. ERIC, C.F., CANTÚ, M.P., DEGIOVANNI, S., VILLEGAS, M., SCHIAVO, H.F., BECKER, A. R., DOFFO, N. (1995) - Diagnóstico y propuesta de ordenamiento territorial del Distrito Alberdi, Río Cuarto, Córdoba. 1ª Parte: Ordenamiento hidrológico superficial y control de erosión de calles. *Primera Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Tomo II: 423 - 446.
  29. EUROSTAT (2002) - *Material use in the European Union 1980-2000: indicators and analysis*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo.
  30. GELLIS A. C., ELLEVEIN A., ABY S., PAVICH M. J., BIERMAN P. R., CLAPP E. M. (2004) - Modern sediment yield compared to geologic rates of sediment production in a semi-arid basin, New México: Assessing the human impact. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28 (11), 1359-1372.
  31. GIMÉNEZ, J.E., SALERNO, M.I., HURTADO, M.A. (2002) - Rehabilitation of desurfaced soils by afforestation in La Plata county, Argentina. *Land Degradation and Development*, 13:69-77.
  32. GLADE T. (2003) - Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand. *Catena*, 51, 297-314.
  33. GONZÁLEZ-DÍEZ A., SALAS L., DÍAZ DE TERÁN J. R., CENDRERO A. (1996) - Late Quaternary climate changes and mass movement frequency and magnitude in the Cantabrian Region, Spain. *Geomorphology*, 15 (3-4), 291-309.
  34. GONZÁLEZ-DÍEZ A., REMONDO J., DÍAZ DE TERÁN J. R., CENDRERO A. (1999) - A methodological approach for the analysis of the temporal occurrence and triggering factors of landslides. *Geomorphology*, 30, 95-113.
  35. GOUDIE A. (1984) - *The nature of environment: an advanced Physical Geography*. Blackwell, Oxford.
  36. GOUDIE A. (1993) - Human influence in geomorphology. *Geomorphology*, 7, 37-59.
  37. GOUDIE A. (1995) - *The Changing Earth. Rates of geomorphological processes*. Blackwell, Oxford.
  38. GUZZETTI F., TONELLI G. (2004) - Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 213-232.
  39. HALLET B., HUNTER L., BOGEN, J. (1996) - Rates of erosion and sediment evacuation by glaciers: A review of field data and their implications. *Global and Planetary Change*, 12, 213-235.
  40. HARBOR J. (1999) - Engineering geomorphology at the cutting edge of land disturbance: erosion and sediment control on construction sites. *Geomorphology*, 31, 247-263.
  41. HAY W.W. (1998) - Detrital sediment fluxes from continents to oceans. *Chemical Geology*, 145, 287-323.
  42. HEIMSHAT A. M., EHLERS T. A. (2005) - Quantifying rates and timescales of geomorphic processes. *Catena*, 30 (8), 917-921.
  43. HOOKE R. L. (1994) - On the efficacy of humans as geomorphic agents. *GSA Today*, 4 (9), 224-225.
  44. HOOKE R. L. (1999) - Spatial distribution of human geomorphic activity in the United States: comparison with rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 687-692.
  45. HURTADO, M.A., GIMÉNEZ, J.E., CABRAL, M.G., MARTINEZ, O.R., SANCHEZ, C. (2001) - Implicancias ambientales de la actividad extractiva del suelo y su comparación con el uso agropecuario en el gran La Plata, provincia de Buenos Aires Argentina. III Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Area del Mercosur. Mar del Plata, Argentina, del 28-31 marzo 2001. Publ. CD.
  46. IGME (2002) - Panorama minero. <http://www.igme.es>
  47. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996) - *Climate change 1995: The Science of*

- Climate Change. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
48. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001) - Climate change 2001. The scientific basis. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
  49. JAMES L. A. (1989) - Sustained storage and transport of hydraulic gold mining sediment in the Bear river, California. *Annals of the Association of American Geographers*, 79 (4), 570-592.
  50. JUDSON S. (1983) - Erosion of the land, what's happening to our continents? In: Tank R.W. (ed.), *Environmental Geology*. Oxford Univ. Press, New York, pp. 184-197.
  51. KNOX J. (2001) - Agricultural influence on landscape sensitivity in the Upper Mississippi River Valley. *Catena*, 42, (2-4), 193-224.
  52. LATRUBESSE E. M., STEVAUX J. C., SINHA R. (2005) - Tropical rivers. *Geomorphology*, 70 (3-4), 187-206.
  53. LEOPOLD L. B., WOLMAN M. G., MILLER J. P. (1964) - *Fluvial processes in Geomorphology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
  54. LU X. X. (2005) - Spatial variability and temporal change of water discharge and sediment flux in the Lower Jinsha tributary: Impact of environment changes. *River Research and Applications*, 21 (2-3), 229-243.
  55. LUTTIG, G. (1987) - Approach to the problems of mineral resources' extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries. In: P. Arndt and G. Luttig (eds.), *Mineral resources extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries*. E. Schweizerbart, Stuttgart: 7-13.
  56. LUTTIG G. W. (1992) - The environmental impact caused by the use of geopotential. In: Kozlovsky E. A. (ed.), *Geology and the environment*; Vol. III. UNESCO-UNEP, Paris-Nairobi, pp. 31-51.
  57. MARCUS W. A., KEARNY M. S. (1991) - Upland and coastal sediment sources in a Chesapeake Bay estuary. *Annals of the Association of American Geographers*, 81 (3), 408-424.
  58. MARELLI H. J., WEIR A., LATTANZI A., DÍAZ R. (1985) - Técnicas de conservación de suelos. Serie Suelos y Agroclimatología n° 3. INTA, Marcos Juárez, Argentina.
  59. MARSH, G.P. (1864) - *Man and Nature*. Sampson, Low & Son, London.
  60. MARSH, G.P. (1874) - *The Earth as modified by human action (a new edition of Man and Nature)*. Scribner, Armstrong & Co., N. York.
  61. McCLINTOCK K., HARBOR J. M. (1995) - Modeling potential impacts of land development on sediment yields. *Physical Geography*, 16 (5), 359-370.
  62. MEADE R. H. (1982) - Sources, sinks and storage of river sediment in the Atlantic drainage of the United States. *The Journal of Geology*, 90 (3), 235-252.
  63. MORENO J. M. (ed.) (2005) - Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
  64. MUNICH RE (2005) - *Topics Geo Annual review: Natural catastrophes 2004*. Munchener Ruckversicherungs-Gesellschaft, Munchen. 60 pp.
  65. NANI L. A., BENY M. D., MORESCO R. F. (1980) - Pérdidas de suelo y agua en un suelo molisol. Efecto cultivo y rotación. *Actas IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo*. Paraná, Argentina, pp. 817-822.
  66. NAREDO J. M. (2002) - Anatomía y fisiología de la conurbación madrileña. *Proc. Seminario sobre Ciudades del Siglo XXI*, Barcelona, 26 oct 2002.
  67. NAREDO J. M., VALERO A. (eds.) (1999) - *Desarrollo económico y deterioro ecológico*. Fundación Argentaria: Economía y Naturaleza. Madrid.
  68. NOGUÉS S. (1987) - *Torrelavega: un espacio industrializado*. Serv. Publ. Ayuntamiento de Torrelavega.
  69. PHILLIPS J. D. (1999) - *Earth surface systems*. Blackwell, Oxford.
  70. RAWAT J. S., RAWAT G., RAI S. P. (2000) - Impact of human activities on geomorphic processes in the Almora region, Central Himalaya, India. In: Slaymaker O. (ed.), *Geomorphology, human activity and global environmental change*. Wiley, Chichester, pp. 285-299.
  71. REMONDO J. (2001) - *Elaboración y validación de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante técnicas de análisis espacial*. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo.
  72. REMONDO J., GONZÁLEZ-DÍEZ A., DÍAZ DE TERÁN J. R., CENDRERO A. (2003) - Landslide susceptibility models utilising spatial data analysis techniques. A case study in the lower Deva Valley, Guipuzcoa (Spain). *Natural Hazards*, 30, 267-279.
  73. REMONDO J., SOTO J., GONZÁLEZ-DÍEZ A., DÍAZ DE TERÁN, J. R., CENDRERO A. (2005) - Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas in northern Spain. *Geomorphology*, 66, 69-84.
  74. RENWICK, W. H., CARLSON, K. J., HAYES-BOHANAN, J. K. (2005) - Trends in recent reservoir sedimentation rates in Southwestern Ohio. *Journal of Soil and Water Conservation*, 60 (2), 72-79.
  75. RIVAS, V., CENDRERO, A., HURTADO, M., CABRAL, M., GIMÉNEZ, J., L. FORTE, L., DEL RÍO, L., CANTÚ, M., BECKER, A. (2006) -

- Geomorphic consequences of urban development and mining activities; an analysis of study areas in Spain and Argentina *Geomorphology*, 73 (3-4): 185-206.
76. SALAS, L. (1993) - Análisis de las variaciones climáticas holocenas en la región cantábrica a partir de estudios palinológicos; influencia de la degradación diferencial del polen en las interpretaciones paleoclimáticas. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.
  77. SÁNCHEZ DE LA TORRE, L. (1983) - Problemas ambientales derivados de los recursos de carbón. II Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Lérida. Vol. Ponencias. SEGAOT, Madrid: 59-147.
  78. SEGEMAR (2002) - Secretaría de Geología y Minería de Argentina; Archivos sobre actividad minera.
  79. SIGHA-NKAMDJOU, L., NDAM, J. R., BELLO, M., KAMGANG, R., EKODECK, G. E., OUAFO, M. R., MAHE, G., PATUREL, J. E., SERVAT, E., SIGHOMNOU, D., LIENOU, G. (2005) - Climatic and human impacts on sediment fluxes of river basins in Cameroon with contrasting land cover. IAHS-AISH Publication, 292, 291-298.
  80. SLAYMAKER, O. (1993) - The sediment budget of the Lillooet river basin, British Columbia. *Physical Geography*, 14, 304-320.
  81. SLAYMAKER, O. (ed.) (2000) - *Geomorphology, human activity and global environmental change*. Wiley, Chichester.
  82. SOWA A., IBE K. M., IWUAGWU C. J. (1990) - The activation of erosion by sand dredging and other anthropogenic environmental impacts in the Owerri urban area, SE Nigeria. In: Lüttig G. W. (ed.), *Geosciences assisting land-use planning in setting opposing interests between aggregate extraction and environmental protection*. Universitat Erlangen, Nurnberg, pp. 23-24.
  83. SUMMERFIELD M. A., HULTON N. J. (1994) - Natural controls of fluvial denudation rates in major world drainage basins. *Journal of Geophysical Research*, 99 (B7), 13871-13883.
  84. SYVITSKI J. P. M., VÖRÖSMARTY C. J., KETTNER A. J., GREEN P. (2005) - Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308, 376-380.
  85. TARBUCK, E.J., LUTGENS, F.K. (2000) - *Ciencias de la Tierra, una introducción a la Geología Física*. Prentice Hall, Madrid.
  86. THOMAS W. L. (ed.) (1956) - *Man's role in changing the face of the Earth*. The University of Chicago Press, Chicago.
  87. TRIMBLE S. W. (1981) - Changes in sediment storage in the Coon Creek Basin, Driftless area, Wisconsin, 1853 to 1975. *Science*, 214, 181-183.
  88. TRIMBLE S. W. (1997) - Contribution of stream channel erosion to sediment yield from an urbanizing watershed. *Science*, 278, 1442-1444.
  89. UNEP (1997) - *Global environment outlook*. Oxford Univ. Press, Oxford - N. York.
  90. WACKERNAGEL M., REES W. (1996) - *Our ecological footprint; reducing human impact on the earth*. New Society Publishers, Canada.
  91. WALLING D. E. (1996) - Erosion and sediment yield in a changing environment. In: Branson J., Brown A.G. & Gregory K. J. (eds.), *Global continental changes: the context of palaeohydrology*. Geological Society, Special Publication, 115, pp. 43-56.
  92. WISCHMEIER W. H., SMITH D. D. (1978) - Predicting rainfall erosion losses. United States Department of Agriculture, *Agricultural Handbook No. 537*.
  93. WOLMAN M. G. (1967) - A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Geografiska Annaler*, 49A, 385-395.
  94. WOLMAN M. G., SCHICK A. P. (1967) - Effects of construction on fluvial sediment, urban and suburban areas of Maryland. *Water Resources Research*, 3 (2), 451-464.