

CAMBIO GLOBAL Y USOS DEL SUELO ¿QUE ESTÁ OCURRIENDO CON LA EPIDERMIS DE LA TIERRA?

A. Cendrero¹, L.M. Forte², M.A. Hurtado², J. Bonachea¹, J. Remondo¹, V. Rivas³, M. Dantas⁴, M.A. de O. Bezerra⁵, J.M. Naredo⁶, G. Méndez⁷.

¹Dpto. Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Universidad de Cantabria, España

²Instituto de Geomorfología y Suelos, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

³Dpto. Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria, España

⁴Escola de Engenharia de Sao Carlos, Universidade de Sao Paulo, Brasil

⁵Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

⁶Universidad Politécnica de Madrid, España.

⁷Universidad de Vigo, España.

RESUMEN

Se presentan una serie de hechos relativos a la influencia humana sobre los procesos que afectan a la superficie terrestre y se comentan algunos de los efectos de dicha influencia. Los datos presentados indican que en el momento actual el ser humano es, con gran diferencia, el principal agente modificador de la capa superficial del planeta, causando una movilización de suelo y de otros materiales geológicos uno o dos órdenes de magnitud superior a la denudación por procesos naturales. La influencia humana se ha traducido en una fuerte aceleración de las tasas de generación y acumulación de sedimentos, y también de los procesos de tipo "hidrogeomorfológico", que se traduce en un incremento de los desastres debidos a deslizamientos o inundaciones. La discusión, en la que se introducen algunos conceptos novedosos tales como "huella geomorfológica humana" y "cambio geomorfológico global", se ilustra con el análisis de casos relativos a zonas de estudio en Sudamérica y España, que muestran que la magnitud relativa de los cambios que estamos produciendo en los procesos que afectan a la epidermis de la Tierra es muy superior a la de los cambios que causamos sobre el clima.

Palabras claves: huella geomorfológica humana, cambio geomorfológico global, riesgos naturales, denudación.

ABSTRACT

A series of facts about the human influence on earth surface processes are presented and some of its consequences discussed. Data provided indicate that human beings are presently, by far, the main agent behind the modification of the surface layer, causing a transfer of soil and other geologic materials one or

two orders of magnitude greater than the one due to natural agents. Human influence has produced an important acceleration of sediment generation and deposition, as well as of hydrogeomorphic processes in general. This has resulted in a substantial increase of disasters due to those hazards. The discussion, in which novel concepts such as “human geomorphic footprint” or “global geomorphic change” are introduced, is illustrated with case studies from South America and Spain, showing that the relative magnitude of human-induced changes is much greater on geomorphic processes than on climate.

Keywords: human geomorphic footprint, global geomorphic change, natural hazards, denudation.

1. Introducción

El presente artículo es la versión escrita de una conferencia pronunciada el 11 de junio de 2009 en Buenos Aires, organizada conjuntamente por las Academias Nacionales de Agronomía y Veterinaria y de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Argentina. El contenido de dicha conferencia resume trabajos publicados por los autores (Remondo et al., 2005; Cendrero et al., 2005, 2006, 2007; Rivas et al., 2006; Bonachea et al., 2008; Bruschi et al., 2008). y otros en curso de publicación (Cendrero et al., 2009; Bonachea et al., 2009) dentro del proyecto CAMGEO (CGL2006-11431; Plan Nacional de I+D+i, España), en el que colaboran, además de la Universidad de Cantabria y Universidad de Vigo (España) y la Universidad Nacional de la Plata (Argentina), la Universidade de Sao Paulo y la Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (Brasil). Los temas aquí expuestos se desarrollan con más amplitud en los citados trabajos, a los cuales puede acudir el lector interesado en obtener detalles adicionales.

2. Influencia humana sobre los procesos terrestres superficiales

En la actualidad hay una amplia conciencia de los múltiples e importantes efectos que la actividad humana tiene sobre diferentes características y procesos de nuestro planeta. Esa preocupación no es algo nuevo (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.

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. Modificaciones importantes en los procesos de denudación y evolución del re-

lieve se han podido constatar, por ejemplo, durante el Neolítico en la Cornisa Cantábrica (Fig. 1, González et al., 1999), época en la cual hubo un aumento marcado de los procesos de deslizamiento de tierras, fundamentalmente por causa de la tala y quema de bosques para expansión de la ganadería y la agricultura.

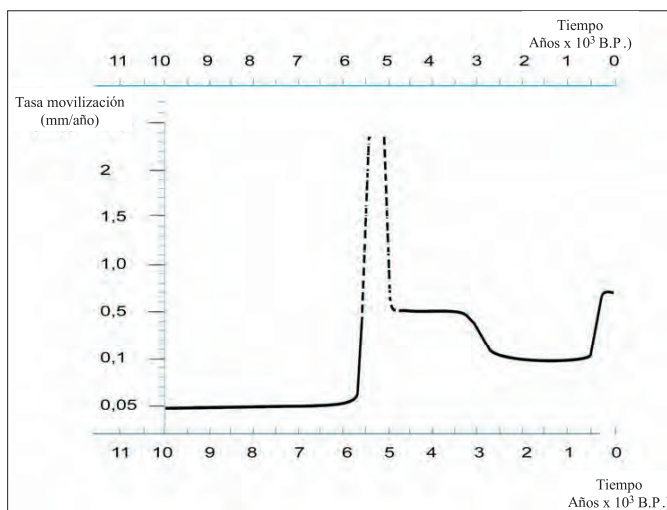


Figura 1. Tasas de movilización de materiales superficiales por acción de los deslizamientos de tierras en un valle del N de España, durante los últimos 10.000 años. Escala temporal en miles años antes del presente. Se observa un fuerte incremento hace aproximadamente 5500 años y otro, menos marcado, hace unos 200 años. Dichos incrementos coinciden con las revoluciones neolítica e industrial, respectivamente (de González et al., 1999).

Otro ejemplo 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 (Fig. 2), patria de Abraham y un puerto en la época bíblica, se encuentre en la actualidad a unos 250 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.



Figura 2. Restos de la antigua ciudad de Ur, en Mesopotamia (actual Irak), que en la época bíblica era un puerto y hoy se encuentra a unos 250 km de la costa del Golfo Pérsico.

En épocas algo más recientes tenemos el caso de la ciudad y puerto de Efeso (Fig. 3), un importante puerto comercial de Anatolia hasta el principio de la Era Cristiana. El progresivo cegamiento del puerto por los 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.

La influencia humana sobre los procesos que afectan a la epidermis de la Tierra también se ha manifestado desde tiempos muy antiguos en la construcción de nuevas formas. La figura 4 muestra uno de los cientos de "tells" o colinas de forma tronco-cónica construidas por la acumulación de los restos de sucesivas poblaciones a lo largo de siglos en la zona. La mayoría de ellas se formaron y abandonaron hace varios milenios pero algunas, como es el caso de la ciudad de Erbil, capital del Kurdistán iraquí, siguen siendo centros de población en la actualidad.



Figura 3. Ruinas de Efeso, en la actual Turquía. Efeso era un puerto en las épocas griega y romana, y actualmente se encuentra a unos 6 km de la costa mediterránea.



Figura 4. Un "tell" del N de Irak. Estas formas del terreno, de las que hay cientos en la región, se formaron a lo largo de siglos por acumulación de los restos de sucesivos asentamientos humanos.

Como es lógico, nuestra capacidad 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 “antropogeoformas”, ya sean de acumulación (principalmente los grandes complejos urbanos) o de excavación (las grandes explotaciones mineras a cielo abierto o el trazado de vías de comunicación). 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, mientras que 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.

Un trabajo llevado a cabo a través del análisis de zonas de estudio en la Argentina y España (Rivas et al., 2006) ha permitido estimar la contribución de las actividades humanas a los procesos que afectan a la epidermis de la tierra, en lo que se refiere a la movilización de materiales sólidos. Un indicador importante de la intensidad de los procesos geomorfológicos superficiales que afectan a una zona es la tasa de transferencia de materiales sólidos (suelo, otros materiales no consolidados y rocas) 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 transferencia natural 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. Pero la evolución del paisaje está estrechamente ligada a ciertos procesos que contribuyen a la misma, como son la denudación, la escorrentía superficial y, asociados a estas, los deslizamientos de tierras y las inundaciones, que sí tienen mucha importancia para la vida y los bienes de las personas.

El citado trabajo de Rivas et al., (2006) se basó en la determinación de las superficies afectadas por la expansión de varias áreas urbanas, de los volúmenes excavados para la construcción de las mismas y de las infraestructuras asociadas, así como de la extracción de materiales de construcción y recursos minerales de todo tipo. Los autores citados propusieron para expresar ese efecto el concepto de huella geomorfológica humana, relacionado con (pero muy diferente de) el concepto de huella ecológica (Wackernagel y Rees, 1996). La huella geomorfológica se expresa como superficie ocupada por las

“antropogeofomas” construidas por acción humana (áreas urbanas e industriales, infraestructuras, cavidades producidas por extracción de materiales, acumulaciones de todo tipo de materiales sólidos sobre la superficie, etc.) y volumen de materiales geológicos desplazados de un lugar a otro de la superficie terrestre como consecuencia de lo anterior, de manera directa y deliberada o indirectamente. La tasa de movilización debida a la acción humana (MR, que se relaciona en cierto sentido con el concepto de denudación tecnológica de Brown, 1956) sería por tanto.

$$TM = TED_{ui} + TED_{mc} + TDI_{uimc}$$

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

Los resultados obtenidos por medio del análisis anterior se resumen en la figura 5 y la Tabla 1. Es interesante señalar que, de acuerdo con los datos aportados por Rivas et al. (2006), a pesar de que las áreas perturbadas por excavaciones y acumulaciones de origen humano representan una proporción pequeña de cada zona de estudio, la erosión indirectamente inducida sobre las mismas parece estar generando tanto sedimento -o 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 paisaje en esas zonas parece ser determinante, siendo la contribución de los procesos naturales bastante secundaria.

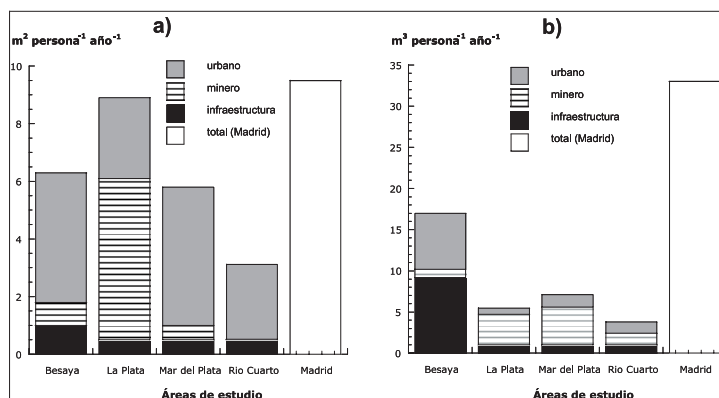


Figura 5. “Huella geomorfológica”, expresada como superficie ocupada por “antropogeofomas” ($m^2 pers^{-1} a^{-1}$) y volumen de materiales sólidos movilizados ($m^3 pers^{-1} a^{-1}$), en varias zonas de estudio de la Argentina y España. Se indican en cada caso las actividades causantes de esa huella (de Rivas et al., 2006).

Tabla 1. Huella geomorfológica total (valores aproximados; de Rivas et al., 2006).

	España	Argentina	Mundo (??)
m²/persona/año	9	6	7,5
m³/persona/año	28,5	7	18
km²/año	360	210	45.000
x10⁶ m³/año	1140	245	108.000
x10⁶ t/año	2964	637	280.800
mm/año	2,3	0,1	0,8

Una comparación de las tasas presentadas más arriba con las obtenidas por distintos autores para los procesos naturales de denudación, en lugares y condiciones bastante distintas (Tabla 2) o para el aporte de sedimentos a los océanos por parte de los ríos del mundo (Tabla 3), proporciona datos de gran interés, si bien la comparación debe hacerse con cuidado y tiene una validez limitada, dadas las incertidumbres existentes en relación con los valores obtenidos por todos los autores mencionados. Si las cifras presentadas por Rivas et al. (2006) -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 actividades humanas analizadas, que estarían contribuyendo en más de un 90% a la denudación total de la superficie terrestre.

Tabla 2. Tasas de denudación (mm/año) según distintos autores (de Douglas, 1990; Goudie, 1995; Remondo, 2001, Rivas et al., 2006).

Autor (año)	Zona	Tasa	Observaciones
<i>Clark y Jagger (1964)</i>	Alpes	0.004-1	
<i>Corbel (1964)</i>		0.03-0.15	zonas temp./húm.
<i>Earlly y Vivant (1967)</i>	Utah	0.14-0.067	
<i>Racston y McDougall (1967)</i>	Papua	0.06-0.8	
<i>Strakhor (1967)</i>		0.03-0.08	cuencas grandes ríos
<i>Young (1974)</i>		0.1-0.5	zonas de montaña
<i>Owens y Watson (1979)</i>		0.01-0.05	zonas bajas
<i>Selby (1982)</i>	Mississippi	0.04	
<i>Judson (1983)</i>	Mundo	0.06	de datos brutos
<i>Judson (1983)</i>	Mundo	0.025	contribución natural
<i>Saunders y Young (1983)</i>	Mundo	0.01-1	
<i>Crozier (1984)</i>	N. Zelanda	0.03-0.5	zonas de bosque
<i>Cendrero y D. Terán (1985)</i>	Canarias	0.27	
<i>Benito et al., (1991)</i>	Galicia		0.01
<i>Nava (1995)</i>	Bárdenas	4-10	
<i>Briggs et al., (1997)</i>	Mundo	0.065	de datos brutos
Rivas et al., (2006)	Argentina+España	0,8	de casos estudio

De acuerdo con las estimaciones presentadas, la huella geomorfológica humana, probablemente equivale en la actualidad a unos 45.000 km² a-1. Si se tiene en cuenta la tendencia al aumento de esa huella “per capita”, a causa del aumento de la capacidad económica y tecnológica, y el crecimiento de la población, la superficie total de nuevas “antropogeformas” podría alcanzar proporciones continentales hacia fin de siglo, probablemente del orden de 510 x 10⁶ km². El volumen movilizado, actualmente del orden de 1011 m³ 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 planetario y representan una dimensión significativa -aunque poco conocida- del cambio global.

Tabla 3. Transporte fluvial de sedimentos a los océanos, comparada con la denudación tecnológica (de Judson, 1983; Rivas et al., 2006). La acción humana es del orden de 10¹¹ t a⁻¹ y la debida a procesos naturales de 10⁹-10¹⁰ t a⁻¹.

AUTORES	x 10 ⁶ t a ⁻¹
<i>Lopatín (1950)</i> [^]	17,500
<i>Kuenen (1950)</i> [*]	32,500
<i>Fournier (1960)</i> ⁺	58,000
<i>Barth (1962)</i>	3,800
<i>Schumm (1963)</i> ⁺	20,500
<i>MacKenzie y Garrels (1967)</i> ⁺	8,300
<i>Judson (1968)</i>	24,000
<i>Holeman (1968)</i> [^]	18,300
<i>Judson (1983)</i> [^]	9,300
<i>Milliman y Meade (1983)</i>	13,505
<i>Rivas et al., (2006)</i>	280.000

[^]solamente sedimento natural

^{*}No incluye carga de fondo

⁺solamente carga sólida

3. Efectos ambientales indirectos de los cambios de uso del suelo sobre los procesos geomorfológicos.

El aumento de las tasas de construcción de nuevas geoformas y de 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 “antropogeomorfológicos” 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.

3.1. Inestabilidad de geformas 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 (1998) fue el derrumbe de la presa de estériles de Aznalcóllar, en el S de España, 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 (Cantabria, España). 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 (Cantabria, España) el colapso de cavidades subterráneas producidas por la extracción de sal afectaba a 27.000 m² en 1957, a 50.000 m² 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.

3.2. 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 (Argentina) 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.

3.3. 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 (Argentina) 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).

3.4. Erosión urbana e inundaciones

La transformación del terreno por el proceso de urbanización modifica la escorrentía superficial y, consecuentemente, los procesos de 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 (Argentina) (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 grave 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 "antropogeomorfológico" 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.

3.5. 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 km² de humedales naturales. Durante el mismo periodo se produjeron 5 km² de depresiones artificiales (110 excavaciones), de las cuales cerca de 3 km² (67 excavaciones) están en la actualidad ocupados por agua de forma permanente o estacional y unos 2 km² (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.

3.6. 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 km². Mucho más extendida es la decapitación de suelos o extracción del horizonte superficial para la elaboración de ladrillos, que ha afectado a 138,8 km². 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 km², de los cuales 215 km² corresponden a suelos de alta calidad, casi la mitad de los 457 km² existentes. La tasa de afectación en los últimos 35 años ha sido de 1,97 km²/año, por lo que si el proceso continua a un ritmo similar en el futuro (y todo indica que probablemente aumente), la práctica totalidad de los suelos productivos habrá desaparecido en el municipio dentro del presente siglo.

4. Procesos superficiales y riesgos relacionados

Parece por tanto que la modificación que los cambios de uso del suelo están produciendo en los procesos geomorfológicos es de una magnitud relativa muy superior a la que producimos sobre el clima ¿Puede esa modificación tener consecuencias negativas para las personas? Hay razones para pensar que, efectivamente, eso es así. La modificación de la superficie terrestre por excavación y acumulación de materiales geológicos, la impermeabilización de extensas áreas como consecuencia de la construcción de edificios o infraestructuras y la alteración o destrucción de la cobertura vegetal influyen en los procesos hidrogeomorfológicos, aumentando la escorrentía y también la sensibilidad de

la capa superficial del terreno ante agentes desestabilizadores, naturales o humanos. Es por tanto de esperar que esos cambios se traduzcan en aumentos de la frecuencia e intensidad de procesos peligrosos tales como los deslizamientos de tierras y las inundaciones.

De acuerdo con análisis realizados sobre las previsible consecuencias del cambio climático (Moreno, 2005; IPCC, 2007), ese cambio muy probablemente dará lugar a un aumento de la irregularidad en las precipitaciones, con un aumento en la frecuencia o la intensidad de los episodios de fuertes lluvias. Esto, evidentemente, incrementaría el peligro debido a deslizamientos de tierras e inundaciones, lo que se ha dado en llamar “riesgos hidrogeomorfológicos”. Pero estos son procesos muy sujetos a la influencia de actividades humanas ajenas al clima, como las anteriormente descritas, que ocasionan una fuerte modificación de los procesos hidrológicos superficiales y de la estabilidad de la capa superficial del terreno, con consecuencias en los procesos de denudación, deslizamiento de laderas, generación de sedimento e inundaciones. Esto es, cambios como los que se ilustran en la figura 6 (izq.), pueden estar detrás del aumento de episodios como los que se muestran en las fotografías de la figura 6 (dcha.). Los datos obtenidos en zonas del N de España por Remondo et al. (2005, 2008) ponen de manifiesto que los procesos de deslizamiento se han multiplicado aproximadamente por 10 en menos de 50 años.



Figura 6. Izquierda: cambio de uso del suelo desde los años 50 en una zona costera de España, que ilustra la portada de un volumen publicado por el Observatorio de la Sostenibilidad en España. Derecha: deslizamientos en Galicia, España (arriba), en octubre de 2006 e inundaciones y deslizamientos en Guatemala (abajo) en octubre de 2005. El aumento de este tipo de procesos parece estar relacionado con los cambios de uso del territorio.

Ese tipo de datos llevó a plantear la posibilidad de que el conjunto de las relaciones descritas obedezca a un modelo como el que se representa en la figura 7. Si el modelo es correcto, la modificación creciente de la superficie terrestre por las actividades humanas producirá un aumento de la frecuencia de episodios tales como deslizamientos de tierras e inundaciones, que además también tenderían a aumentar como consecuencia del cambio climático, tal como se ha señalado más arriba. Inundaciones y deslizamientos son manifestaciones de la dinámica hidrogeomorfológica, por lo que si el modelo es válido y existe una aceleración de la misma esta se debería manifestar también en un aumento de la generación de sedimento y, consiguientemente, de la deposición de este. En efecto, tasas de sedimentación crecientes, “grosso modo” comparables a lo observado para los deslizamientos, se han obtenido por parte de varios autores en el N de España (Cendrero, 2003; Remondo et al., 2005, Ródenas et al., 2004; Gelen et al., 2004; Pérez-Arlucea et al., 2005; Soto et al., 2006; Soto-Torres *et al.*, 2007; Viguri et al., 2007; Irabien et al., 2008a, b; Cearreta *et al.*, 2008; Bruschi *et al.*, 2008).

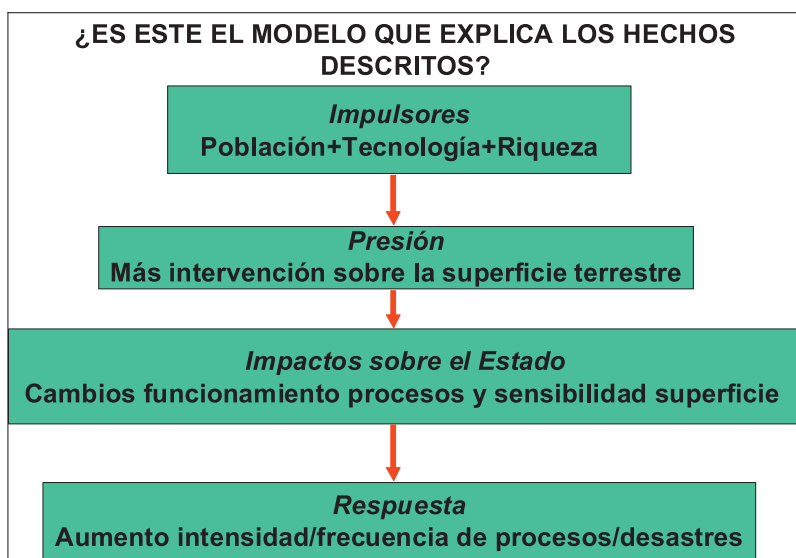


Figura 7. Modelo conceptual que ilustra las posibles relaciones entre impulsores humanos y respuesta de los procesos que actúan sobre la superficie terrestre. El PIB (producto interno bruto) se puede emplear como indicador de la capacidad humana para intervenir sobre la superficie terrestre.

Los datos obtenidos sobre la frecuencia de episodios “hidrogeomorfológicos” en otras regiones y a otras escalas (Munich Re, 2005; Guzzetti and Tonelli, 2004; EM-DAT, 2005) son también coherentes con el modelo (Fig. 8). Se puede apreciar en la figura que los desastres geológicos (erupciones volcánicas y terremotos) muestran un aumento que seguramente es más aparente que real, explicable por dos factores: a) recopilación más completa de datos en periodos recientes; b) aumento de la exposición humana (la población y los elementos materiales sobre el territorio crecen con el tiempo), de modo que es más probable que los acontecimientos recientes produzcan daños y, por tanto, se cataloguen como “desastres”. Seguramente no es sorprendente que el aumento de esos desastres haya sido prácticamente el mismo que el del PIB mundial, lo que sugiere que el segundo factor es más importante. Los desastres estrictamente climáticos (sequías, tormentas) muestran un aumento mayor, lo que, además de a los dos factores anteriores, seguramente obedece a la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos como consecuencia del cambio climático. Finalmente, los desastres de tipo “hidrogeomorfológico” aumentan de forma mucho más marcada. ¿Será que eso refleja los factores reseñados y también un cambio geomorfológico global impulsado, al igual que los anteriores, por el actual modelo de desarrollo económico? (Fig. 7).

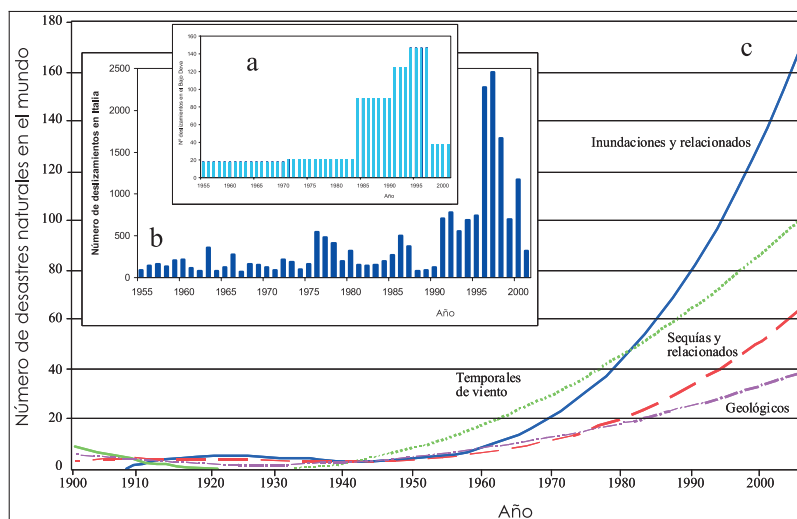


Figura 8. Número de deslizamientos de tierras desde mitad del siglo XX en el valle del Deva, N de España (a) y en Italia (b) y número de desastres naturales de distinto tipo en el mundo a lo largo del siglo XX (c) (de Remondo et al., 2008; Guzzetti y Tonelli, 2004; EM-DAT, 2005, respectivamente).

Con el fin de obtener datos adicionales que permitan contrastar la validez del modelo, se ha acometido un proyecto de investigación (CAMGEO) cuya finalidad es analizar si existe un aumento de las tasas de sedimentación que pueda tener extensión global y, caso de que exista, en que medida dicho aumento puede deberse a agentes impulsores naturales o humanos (Bruschi et al., 2008, Cendrero et al., 2009; Bonachea et al., 2009). Si esa aceleración de la sedimentación se constata, sería indicativa de una aceleración de la dinámica hidrogeomorfológica, y eso debería corresponderse también con un aumento de los procesos peligrosos citados. El proyecto CAMGEO se está llevando a cabo en la cuenca del Río de la Plata y el N de España, con la participación de investigadores de España, la Argentina y Brasil.

En la cuenca del Río de la Plata se han seleccionado varias zonas de estudio para toma de muestras, determinación de tasas de sedimentación y recopilación de datos sobre factores impulsores (Tabla 4, Fig. 9): 1. Laguna de Pozuelos, una cuenca endorreica de unos 4000 km² con muy baja densidad de población y actividades económicas que se limitan prácticamente al pastoreo de ovejas y llamas, con pocos cambios a lo largo del pasado siglo. 2. El Pantanal, el humedal más extenso del mundo, con una cuenca de unos 630.000 km² en la cual las actividades humanas, especialmente en el "planalto" que lo rodea, han aumentado de manera significativa a lo largo del siglo XX, sobre todo en su segunda mitad. 3. Barra Bonita, un embalse formado por una represa construida en 1963, con una cuenca de 12.450 km², que ha experimentado un fuerte aumento de las actividades ligadas a la expansión urbano-industrial y de infraestructura, así como a ciertos cultivos. 4. Finalmente, el estuario del Río de la Plata, con unos 35.000 km² de extensión y profundidades que raramente alcanzan los 10 m, en el cual se encuentra una cobertera de sedimentos que representan una extensión del delta subaéreo, con una gradación desde arenas en la parte proximal a arcillas en la distal. Si el modelo es correcto, las tasas de sedimentación deberían haber permanecido estables en la primera zona (o variado de acuerdo con las precipitaciones) y aumentado en las zonas segunda y tercera, especialmente en esta. Las tasas en el estuario deberían también aumentar, presumiblemente a ritmos intermedios entre los de las subcuencas indicadas.

Los resultados obtenidos hasta ahora (figuras 10 – 14) muestran que las tasas de sedimentación han aumentado a lo largo del siglo XX, por un factor de 5-14 según las zonas. Ese aumento es muy superior al mostrado por las precipitaciones (totales anuales o episodios de lluvias intensas), que en el S de Sudamérica aumentaron 5-8%. Por el contrario, los potenciales impulsores humanos, especialmente los que se pueden relacionar más directamente con alteraciones de la superficie terrestre y pueden influir más en la dinámica hidrogeomorfológica (PIB, como indicador de síntesis del conjunto de las actividades humanas, consumo de energía o consumo de cemento) muestran aumentos con magnitudes y tendencias "grosso modo" comparables con las anteriores.

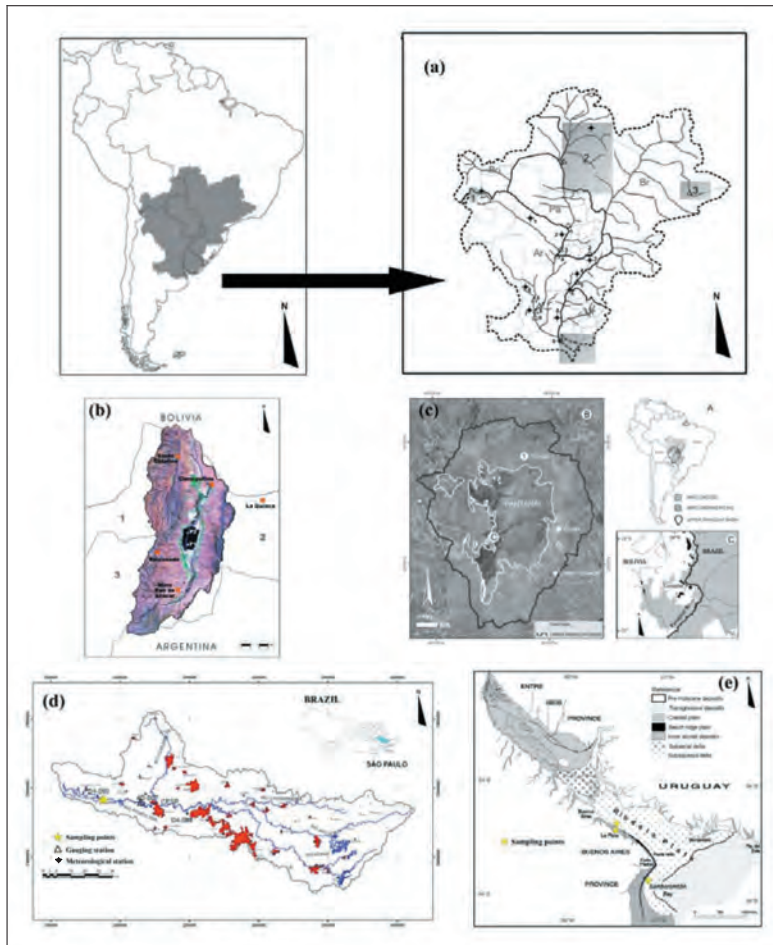


Figura 9. Zonas de estudio en la Cuenca del Río de la Plata. (a) mapa general de la cuenca; (b) cuenca de la Laguna de Pozuelos; (c) cuenca del Pantanal; (d) cuenca de Barra Bonita; (e), estuario del Río de la Plata. Se indican en cada una de ellas los puntos donde se han realizado sondeos para determinar las tasas de sedimentación (de Bonachea et al., 2009).

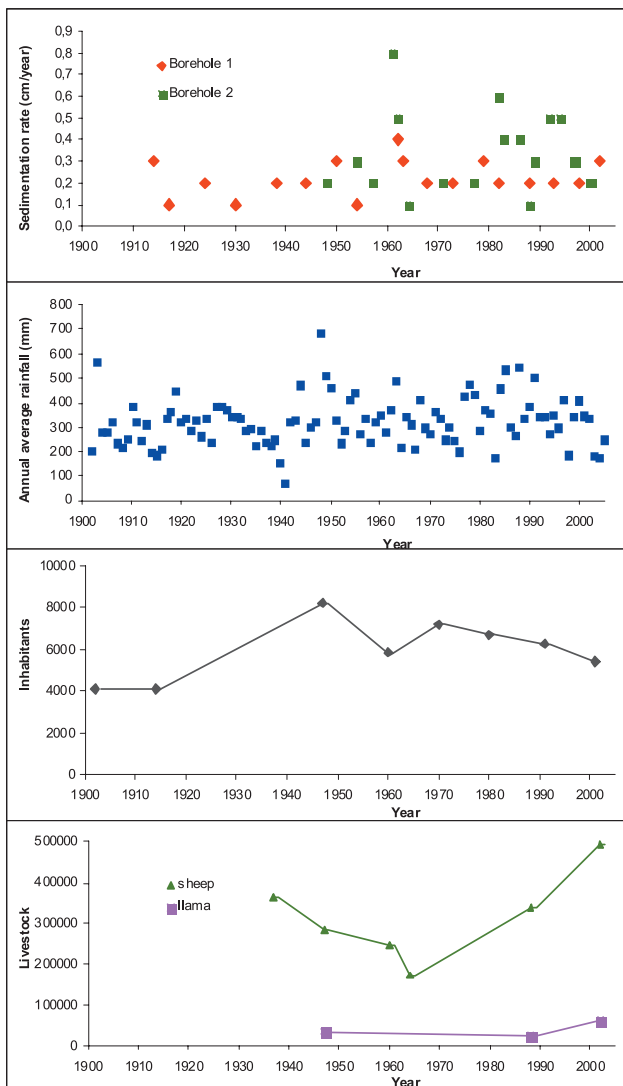


Figura 10. Cuenca de la laguna de Pozuelos. De arriba abajo: tasas de sedimentación; precipitaciones; población; carga ganadera. Se aprecia que los distintos parámetros han permanecido bastante estables a lo largo del último siglo (de Bonachea et al., 2009).

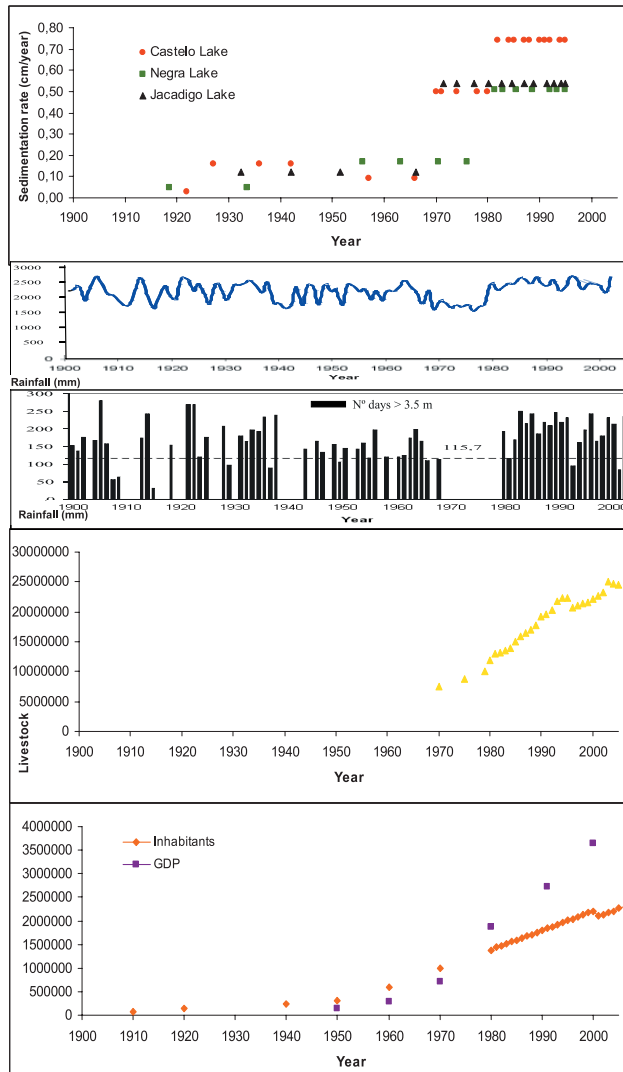


Figura 11. Cuenca del Pantanal. De arriba abajo: tasas de sedimentación; precipitaciones; número de días/año en los que el nivel del río superó los 3,5 m; carga ganadera, población y PIB. Se aprecia que las tasas de sedimentación muestran variaciones que se asemejan mucho más a las de los impulsores humanos que a las de las precipitaciones (de Bonachea et al., 2009).

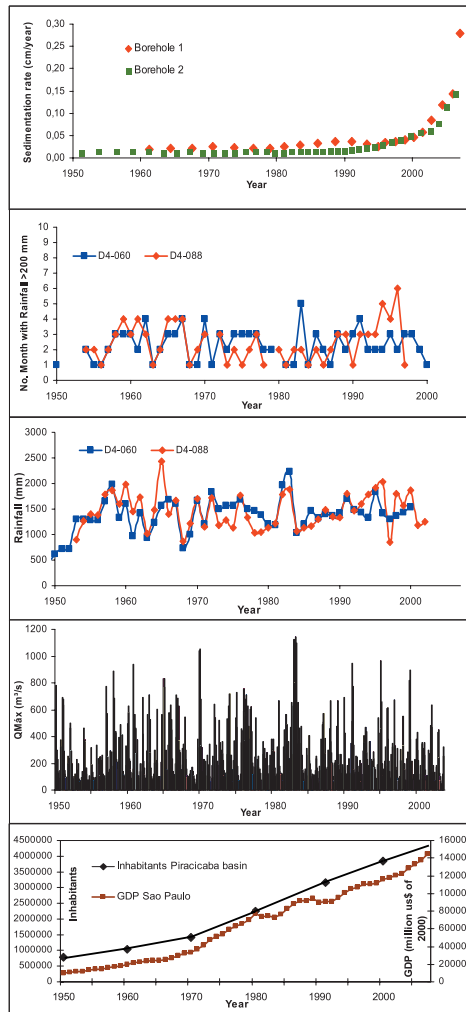


Figura 12. Cuenca de Barra Bonita. De arriba abajo: tasas de sedimentación; número de días/año con lluvias superiores a 200 mm; precipitaciones anuales; caudales máximos del río; población y PIB. Se observa también que la relación es mucho más estrecha entre tasas de sedimentación e impulsores humanos que con las precipitaciones (de Bonachea et al., 2009).

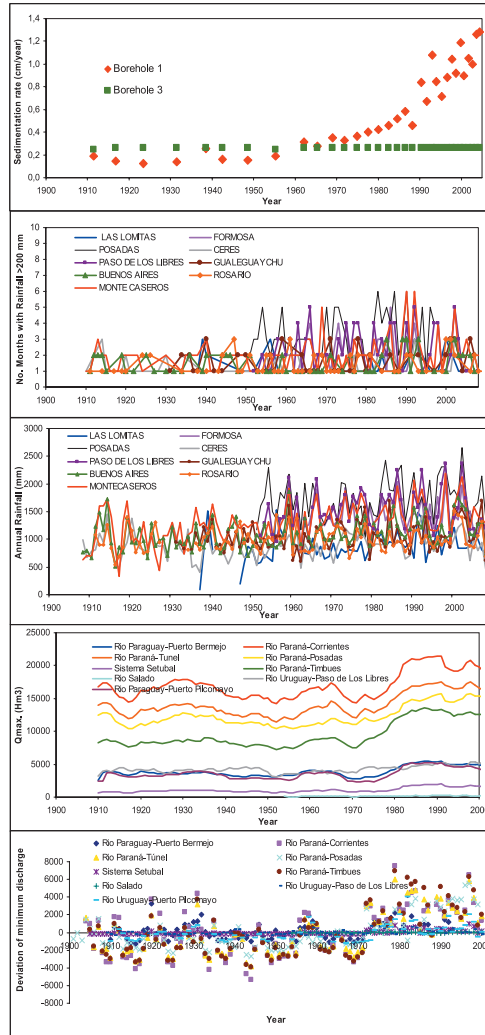


Figura 13. Cuenca del Río de la Plata. De arriba abajo: tasas de sedimentación en el estuario; número de días/año con lluvias superiores a 200 mm; precipitaciones anuales; caudales máximos en distintas estaciones hidrométricas; y desviación de los caudales mínimos con respecto a la media. Los datos son todavía escasos, pero muestran variaciones en las tasas de sedimentación y en la respuesta hídrica, que difícilmente se pueden explicar por el ligero aumento de las precipitaciones (de Bonachea et al., 2009).

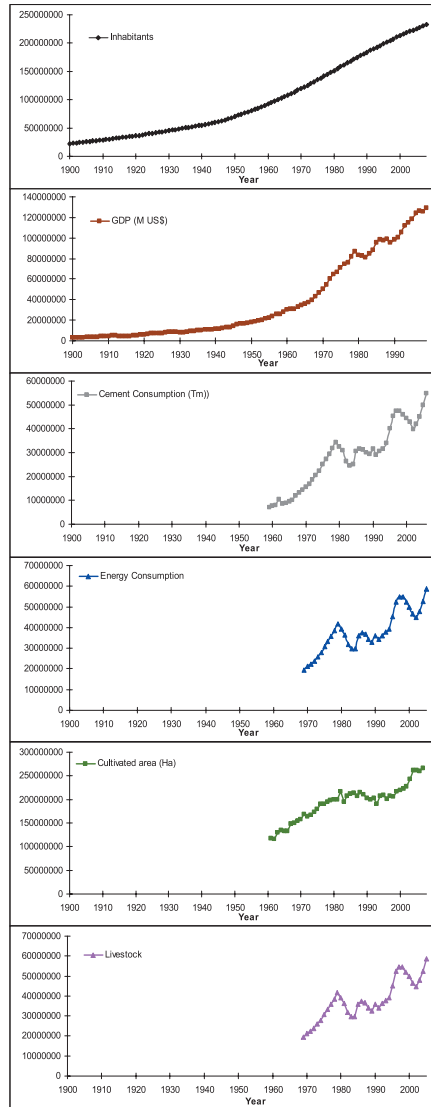


Figura 14. Cuenca del Río de la Plata. De arriba abajo: población; PIB; consumo de cemento; consumo de energía; superficie cosechada; carga ganadera. Los cambios en los impulsores humanos se asemejan también más que las lluvias a lo que muestran las tasas de sedimentación (de Bonachea et al., 2009).

Tabla 4. Características de las zonas de estudio.

Nombre	Área (km ²)	Altitud (m)	Precipitación (mm a ⁻¹)	Población actual	Actividad humana en el último siglo
<i>Laguna de Pozuelos</i>	4000	3600-4808	350	< 3000	Casi nula; estabilidad
<i>Barra Bonita</i>	12.450	450-2060	1150-2000	¹ 4.258.000	Urbana-infraestructura, crecimiento muy intenso
<i>Pantanal</i>	628.000	80-1000	1000-1400	² 25.293.790	Urbana-agraria, crecimiento intenso
<i>Cuenca Río de la Plata</i>	3,1 x 10 ⁶	0-5000	<50 ->4000	³ 113.191.000	Todos los sectores, crecimiento intenso

1. Población (2007) de los municipios incluidos en la cuenca. Datos de IBGE (www.ibge.gov.br). 2. Población (2008) para los estados de Mato Grosso y Mato Grosso do Sul, más de la mitad de la cual se halla dentro de la cuenca. Datos de IBGE (www.ibge.gov.br). 3. Población (2000) de Paraguay más los estados/provincias dentro de la cuenca de Argentina, Brasil, Bolivia y Uruguay. Datos de CEPAL (www.eclac.org).

En el caso del N de España (Fig. 15) los datos relativos a las tasas de sedimentación determinadas en distintos estuarios (Fig. 16), muestran también, en la gran mayoría de los casos, aumentos comparables a los anteriores. Igualmente, se aprecia que los marcados aumentos en las tasas de sedimentación no se corresponden con las variaciones de las precipitaciones, pero sí se asemejan a los mostrados por los indicadores de impulsores humanos (Fig. 17).



Figura 15. Estuarios del N de España donde se han determinado las tasas de sedimentación.

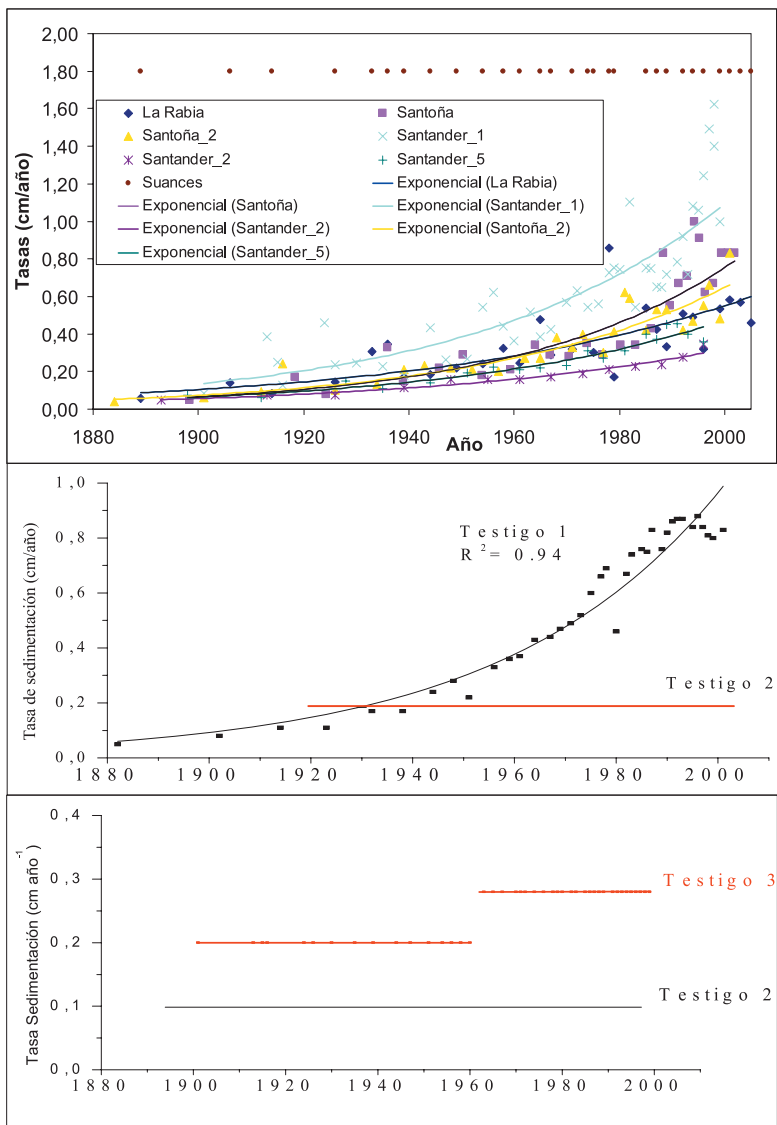


Figura 16. Tasas de sedimentación obtenidas en diferentes sondeos en el N de España. Se aprecia que la mayoría muestran aumentos marcados a lo largo del siglo (de Bruschi et al., 2008).

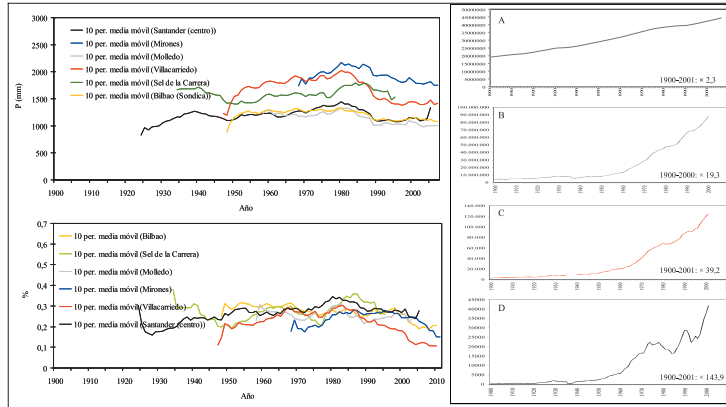


Figura 17. Izquierda: variaciones de las precipitaciones anuales y de los episodios de lluvias intensas (>percentil 95) en varias estaciones del N de España (medias móviles, 10 años). Derecha, de arriba abajo: población; PIB; consumo de combustibles fósiles; consumo de cemento. También en esta región se aprecia que las tasas de sedimentación muestran pautas de variación que se asemejan mucho más a los impulsores humanos que a los naturales (de Bruschi et al., 2008).

Por otro lado, datos relativos a la frecuencia de desastres por inundaciones en distintos continentes o en países de extensión continental, muestran también aumentos muy considerables, con magnitudes que difícilmente se pueden atribuir a cambios de tipo climático, aunque sí que siguen tendencias que se asemejan mucho a las de los PIB respectivos (Fig. 18).

5. Conclusiones

Los resultados presentados más arriba sugieren que la epidermis de la tierra está experimentando transformaciones profundas, que producen cambios considerables en los procesos geológicos que afectan a la misma. Esos cambios han sido especialmente marcados 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 indica que existe una influencia humana creciente en dichos procesos, que se traduce en una mayor sensibilidad de los sistemas geomorfológicos y un marcado crecimiento de la frecuencia de ciertos desastres naturales.

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.

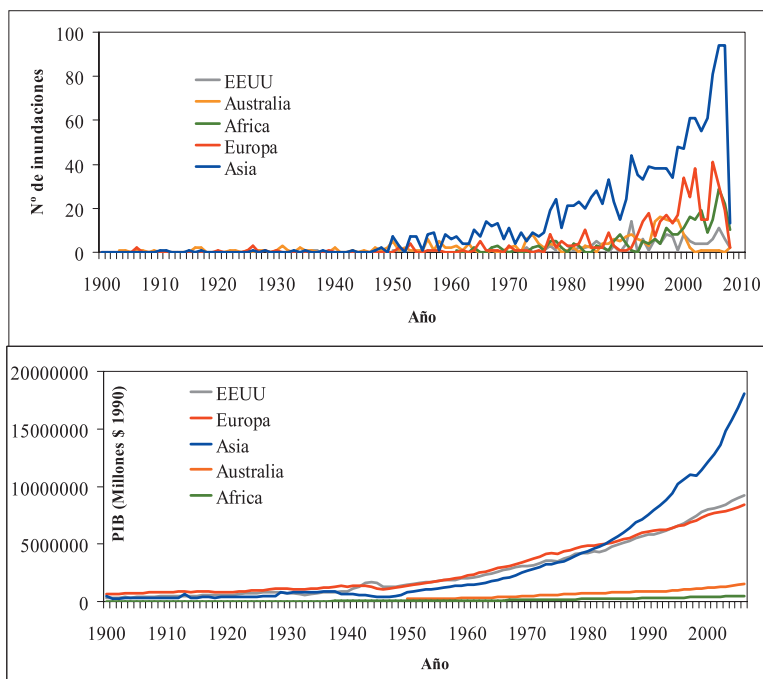


Figura 18. Número de inundaciones y PIB en distintas regiones del mundo a lo largo del siglo XX (de Bruschi et al., 2008).

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, Remondo et al., 2005, 2008; Bonachea et al., 2008). 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. Es por tanto conveniente mejorar nuestra comprensión de las relaciones entre procesos socio-económicos y geomorfológicos, a fin de ajustar nuestros análisis a esa faceta del cambio global, para tratar de mejorar la calidad de nuestros pronósticos.

Una extrapolación de las tendencias mostradas en las figuras 8 y 18 pone de manifiesto que, caso de ser correcto el modelo propuesto, si no se tomaran medidas para cambiar las tendencias observadas, para finales de siglo nos encontraríamos con situaciones de enorme gravedad en lo relativo a los riesgos de tipo hidrogeomorfológico (que son los que anualmente producen, con diferencia, más víctimas y daños prácticamente en todos los países, aunque no den lugar a catástrofes concentradas y de alto impacto mediático como ocurre con los terremotos o los tsunamis). Que las tendencias citadas se materialicen o no dependerá de nuestra capacidad (social, política, económica) para poner en marcha medidas de mitigación.

Parece que, al igual que con el cambio climático, podemos estar ante un acoplamiento entre desarrollo económico y “cambio geomorfológico global” provocado por los cambios de uso del suelo, 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 más sostenibles, mejor adaptadas al funcionamiento de los procesos geológicos superficiales.

Es interesante comentar, a modo de reflexión final, que en mayo de 2009 el anterior Secretario General de Naciones Unidas, Kofi Annan, en la presentación de un informe sobre las consecuencias del cambio climático, señalaba que este “está afectando ya a 300 millones de personas, matando 300.000 y costando 125.000 millones de dólares USA cada año, como consecuencia de malnutrición, enfermedades y aumento de los desastres naturales” (el subrayado es nuestro). De acuerdo con los datos presentados más arriba, el responsable del aumento de los desastres naturales, más que el cambio climático parece ser el cambio geomorfológico.

REFERENCIAS

BONACHEA, J., BRUSCHI, V.M., CENDRERO, A., REMONDO, J., RIVAS, V., SALAS, L., MENDEZ, G., DANTAS, M., PEJÓN, O., ZUQUETTE, L., ETCHEVERRY, R., FORTE, L., HURTADO, M. 2008. ¿Cambio geomorfológico global? Implicaciones para la evaluación y predicción del riesgo de deslizamientos (CAMGEO). En: Benavente, J. and Gracia, F.J. (Eds.). Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008. SEG. Cádiz, 401-404.

BONACHEA, J., BRUSCHI, V.M., HURTADO, M.A., FORTE, L.M., DA SILVA, M.,

ETCHEVERRY, R.O., CAVALLOTTO, J.L., DANTAS Ferreira, M., PEJON, O.J., ZUQUETTE, L.V., DE OLIVEIRABEZERRA, M.A., REMONDO, J., RIVAS, V., GÓMEZ-ARZAMENA, J., FERNÁNDEZ, G., CENDRERO, A. 2009. Natural and human forcing in recent geomorphic change; case studies in the Plata basin. *The Science of the Total Environment* (submitted).

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.

BRUSCHI, V.M., BONACHEA, J., REMONDO, J., RIVAS, V., GÓMEZARZAMENA, J., SALAS, L., FERNÁNDEZ, G., SOTO, J., CENDRERO, A., MÉNDEZ, G., NAREDO, J.M. HURTADO, M.A., FORTE, L.M., DASILVA, M., ETCHEVERRY, R.O., CAVALLOTTO, J.L., DANTAS FERREIRA, M., PEJON, O.J., ZUQUETTE, L.V. 2008. ¿Existe un cambio geomorfológico acoplado a la actividad económica? En: *Contribuciones científicas en memoria del Profesor Jesús Soto Torres*. Eds A. Cendrero, J. Gómez Arzamena, P.L. Fernández Navarro, L.S. Quindós, C. Ródenas & C. Saiz Fernández. PubliCan, Santander: 31-54.

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.

CEARRETA, ALDAY M, IRABIEN MJ, ETXEBARRÍA N, GÓMEZ J. 2008. Modern conditions and recent environmental development in the Muskiz estuary; historical disturbance by the largest oil refinery in Spain. *Journal of Iberian Geology*; 34 (2): 191-203.

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.

CENDRERO, A., RIVAS, V., REMONDO, J. 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

CENDRERO, A., REMONDO, J., BONACHEA, J., RIVAS, V., SOTO, J. 2006. Sensitivity of landscape evolution and geomorphic processes to direct and indirect human influence. *Geografía Física e Geodinámica Cuaternaria*, 29 (2): 125-137.

CENDRERO, A., REMONDO, J., BONACHEA, J., RIVAS, V., SOTO, J. 2007. Global change, global geomorphic change and natural hazards; a new scenario? In: *Dinâmicas Geomorfológicas, Metodologias, Aplicações*. Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Lisboa. pp. 19-38.

CENDRERO, A., BONACHEA, J., REMONDO, J. 2009. Peligros geológicos; maximizar el conocimiento par minimizar los daños. *Boletín Geológico y Minero* (aceptado).

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.

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.

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.

EM-DAT. 2005. The OFDA/CRED International Disaster Database. Web: www.emdat.net - Université Catholique de Louvain, Brussels.

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.

GELEN A, SOTO J, GÓMEZ J, DÍAZ O. 2004. Sediment dating of Santander Bay, Spain. J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry; 261: 437-441.

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.

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.

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.

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.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Climate change 2007: Synthesis report. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

IRABIEN MJ, CEARRETA, LEORRIE, GÓMEZ J, VIGURI JA. 2008 a. A 130-years record of pollution in the Suances estuary (southern Bay of Biscay); implications for environmental management. Marine Pollution Bulletin; 56: 1719-1727.

IRABIEN MJ, RADAM, GÓMEZ J, SOTO J, MAÑANESA, VIGURI JA. 2008 b. An assessment of anthropogenic impact in a Nature Reserve. The Santoña marshes, northern Spain. Journal of Iberian Geology; 34 (2): 235-242.

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. Schweizerbat, Stuttgart: 7-13.

MARSH, G.P. 1864. Man and Nature. Sampson, Low & Son, London.

MARSH, G.P. 1874. The Earth as modified by human action (a new edition of Man and Nature). Scribner, Armstrong & Co., N. York.

MORENO J. M. (ed.) 2005. Evaluación preliminar de los impactos en España por

efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

MUNICH RE 2005. Topics Geo Annual review: Natural catastrophes 2004. Munchener Ruckversicherungs-Gesellschaft, Munchen. 60 pp.

PÉREZ-ARLUCEA M, NOMBELA M, RUBIO B, FILGUEIRA M, MÉNDEZ G, CLEMENTE F. 2005. Hydrology, sediment yield, erosion and sedimentation rates in the estuarine environment of the Ría de Vigo, Galicia, Spain. *Journal of Marine Systems*; 54 (1-4): 209-226.

REMONDO J., SOTO J., GONZÁLEZ-DÍEZA., 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.

REMONDO, J., BONACHEA, J., CENDRERO, A. 2008. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences. *Geomorphology*. 94: 495-507

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

RÓDENAS C, GÓMEZ J, SOTO J. 2004. Medida de ²¹⁰Pb para datación de sedimentos en estuarios. *Revista Investigación Pesquera*; 1E: 1-6.

SOTO J, GÓMEZ J, VIGURI J, CENDRERO A, IRABIEN MJ, YUSTAI, GELENA, DÍAZ O. 2006. Increase of sedimentation rates in an estuarine system. *Contributions to Education and Environmental Protection*; 7: 35-40.

SOTO-TORRES J, SOTO-VELLOSO JA, RÓDENAS G, GELENA, DÍAZ O, VIGURI J, ALCALDE J. 2007. Estimación de las tasas de erosión en torno a la bahía de Santander, España. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*; 7: 1031-1036.

THOMAS W. L. (ed.) 1956. Man's role in changing the face of the Earth. The University of Chicago Press, Chicago.

VIGURI JR, IRABIEN MJ, YUSTAI, SOTO J, GÓMEZ J, RODRÍGUEZ P, MARTÍNEZ M, IRABIEN JA, COZ A. 2007. Physico-chemical and toxicological characterisation of the historic estuarine sediments; a multi-disciplinary approach. *Environment International*; 33: 436-444.

WACKERNAGEL M., REES W. 1996. Our ecological footprint; reducing human impact on the earth. New Society Publishers, Canada.