

¿HEMOS ENTRADO YA EN UNA NUEVA ÉPOCA DE LA HISTORIA DE LA TIERRA?

VIOLA BRUSCHI¹; JAIME BONACHEA PICO¹; JUAN REMONDO TEJERINA¹; LUIS MARÍA FORTE²; MARTÍN HURTADO²; ANTONIO CENDRERO UCEDA¹⁻²

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

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

ABSTRACT

A discussion on the variation of rates and intensity of geomorphic processes and disasters, as well as on potential natural and human drivers is presented. Data obtained indicate that there has been a significant acceleration of geomorphic processes at global level, and that such acceleration seems to be due mainly to human modification of land surface (*global geomorphic change*), rather than to climate factors. The acceleration is particularly marked after the end of World War II, coinciding with the great acceleration experienced by many manifestations of human activity and their effects on the planet. It is proposed that the Anthropocene is characterised, among other things, by a much greater intensity of geomorphic processes and frequency of hazardous events. Also, that the end of World War II could be taken as the starting point of this new geological epoch.

INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo, diversos autores han puesto de manifiesto que en tiempos históricos recientes se ha entrado en un periodo marcado por la creciente y determinante influencia de los seres humanos en el funcionamiento y evolución del planeta. En 1856 **Marsh**, en su obra “Man and Nature. The earth as modified by human action”, señalaba la importancia de las modificaciones producidas en distintos rasgos del planeta por las actividades humanas. En 1873 el geólogo italiano A. Stoppani habló de “una nueva fuerza telúrica....que puede compararse a las mayores

fuerzas de la Tierra”, refiriéndose a la “era Antropozoica”. Vernadsky y Teilhard de Chardin usaron el término “Noosfera” para denotar el papel cada vez mayor del conocimiento humano para condicionar nuestro futuro y el del medio ambiente en general (citados por **Crutzen, 2002**). Las referencias a la importancia de esa influencia sobre los procesos geológicos, son más recientes y más escasas. **Brown (1956)** se refiere específicamente a la “denudación tecnológica”, de magnitud superior a la debida a procesos naturales, y **Ter-Stepanian (1988)** comenta que el Holoceno representa el inicio de la transición del Pleistoceno o Cuaternario al “Tecnógeno” o “Quinario”, con creciente influencia humana, que será dominante en el próximo milenio. **Cendrero y Douglas (1996)** hablan de la “dimensión geomorfológica del cambio global”. En 2002, **P.J. Crutzen** planteó la posible definición de un nuevo periodo geológico dominado de formas diferentes por los seres humanos, el “Antropoceno”, que suplementaría al Holoceno, el periodo cálido de los últimos 10-12 milenios, y que se habría iniciado a finales del siglo XVIII, cuando los análisis del aire atrapado en los hielos polares muestran el inicio de las crecientes concentraciones de dióxido de carbono y metano. En el **cuadro 1** se resumen, a partir de **Ter-Stepanian (1988)**, una serie de ejemplos de actividades humanas que modifican o reproducen distintos rasgos y procesos de la Naturaleza, incluyendo procesos geológicos.

La definición de las divisiones de los tiempos geológicos se ha hecho normalmente a partir de la identificación de cambios significativos en algunas características del planeta, tales como condiciones climáticas,

Influencia humana en procesos naturales que afectan a la Tierra (modificado a partir de Ter-Stepanian, 1988)	
NATURAL	HUMANO
BIOSFERA	
Evolución biológica, nuevas especies Selección natural de los más aptos Extinción de especies	Ingeniería genética, nuevos organismos <i>Selección artificial de los más útiles</i> <i>Extinción de especies (deliberada, indirecta)</i>
ATMÓSFERA/HIDROSFERA	
Evolución geoquímica de atmósfera/hidrosfera Ciclos y cambios climáticos	<i>Contaminación, composición agua y aire**</i> <i>Cambio climático antropogénico**</i>
PROCESOS INTERNOS	
Transferencia de energía interna Generación de energía interna Concentración geoquímica de metales Terremotos Metamorfismo de contacto Formación de minerales en el manto	Uso de energía geotérmica <i>Producción de energía nuclear**</i> <i>Explotación de minerales y metalurgia</i> Terremotos (embalses, explosiones) Producción de materiales cerámicos Producción de diamantes, etc. artificiales
PROCESOS SOLARES	
Síntesis de helio	<i>Fusión nuclear**</i>
PROCESOS SUPERFICIALES	
Meteorización física Meteorización química Transgresiones/regresiones Evolución cursos fluviales Evolución litoral Subsidencia y colapso Movimientos de ladera Formación de relieves Denudación, transporte, sedimentación	Trituración de rocas Tratamiento químicos en rocas, contaminación Aumento del nivel del mar <i>Canalización, rectificación, embalses**</i> <i>Ingeniería costera**</i> Extracción de fluidos, colapsos mineros Acción humana directa e indirecta** <i>Minería y construcción</i> <i>Denudación, transporte y sedimentación antropogénicos**</i>

Posibles marcadores estratigráficos

****Significativo tras la Revolución Industrial**

Cuadro 1. Influencia humana en procesos naturales que afectan a la Tierra (modificado a partir de Ter-Stepanian, 1988)

fauna y flora existentes, funcionamiento de los procesos geológicos, distribución de tierras y mares, etc. Tiene por tanto sentido analizar en que medida la etapa actual presenta características diferentes de las anteriores, los posibles criterios a considerar para definir el inicio de esa posible etapa y, como consecuencia de lo anterior, cual podría ser la fecha a partir de la cual se podría decir que hemos entrado en una nueva época geológica, en la cual se interrelacionan de manera estrecha la historia de la Tierra y la historia de la Humanidad.

Los cambios en las condiciones de la atmósfera y el clima, los procesos geológicos o las comunidades biológicas, dejan huellas que se pueden identificar en el registro geológico, a través de distintos marcadores

estratigráficos que permiten identificar esos cambios del pasado. ¿Hay razones para pensar que el tiempo actual es suficientemente distinto de los tiempos anteriores y que los cambios producidos podrían dejar huellas reconocibles en el futuro registro geológico? La **figura 1 (Price et al., 2011)** muestra posibles marcadores estratigráficos de cambios recientes o actuales que permitirían identificar el inicio del Antropoceno en futuros registros geológicos.

LOS CAMBIOS GEOLÓGICOS Y EL ANTROPOCENO

De acuerdo con lo comentado, la actividad humana ha introducido cambios cualitativos importantes en el

comparado con las 10^{15} – 10^{16} t a⁻¹ que anualmente transportan todos los ríos del mundo a los océanos (Cendrero et al., 2006). Si estos números son correctos, estaríamos ante un cambio cuantitativamente muy significativo del comportamiento de los procesos geológicos superficiales. Naturalmente, la HGF crece al aumentar la población y la capacidad económico-tecnológica de las sociedades. Una extrapolación conservadora sobre la base de las tendencias de variación de la población y producto bruto mundiales indica que la HGF acumulada a lo largo del presente siglo probablemente será de $5\text{--}10 \times 10^6$ km²; es decir, una extensión de magnitud continental en un tiempo geológicamente insignificante.

Es lógico esperar que otras manifestaciones de los procesos geológicos superficiales muestren variaciones similares. Para expresar la posible cadena de relaciones causa-efecto que ligaría el incremento de las actividades humanas con la intensidad de los procesos geomorfológicos se ha propuesto el modelo conceptual *fuerza motriz* (población+riqueza+tecnología)–*presión* (intervención humana sobre la superficie terrestre)–*impactos* sobre el *estado* (cambios en el funcionamiento de procesos y en la

sensibilidad de la capa superficial)–*respuesta* (aumento de la frecuencia o intensidad de los procesos geomorfológicos) (Cendrero et al., 2006). Por su parte, Kolbert (2011), propone un modelo similar para expresar el “impacto humano” (Fig. 3). La magnitud del impacto (representada por el volumen del paralelepípedo) probablemente está sobrestimada en este caso, ya que las tres variables consideradas no son independientes; en concreto el PIB (total, no ‘per capita’) depende de la población y también del desarrollo tecnológico, por lo que el producto entre dichas variables implica una valoración redundante de las mismas. En todo caso, ambos modelos consideran que es de esperar un aumento acelerado de los efectos de la acción humana sobre el planeta.

Si el modelo es correcto, debería existir en distintos lugares del mundo una aceleración de los procesos geológicos superficiales (denudación, deslizamientos, escorrentía, descarga fluvial), mayor producción de sedimentos y, por tanto, mayores tasas de sedimentación. Además, ese aumento debería mostrar una relación más estrecha con los impulsores humanos que con los naturales.

Con el fin de comprobar la hipótesis implícita en el modelo, se han llevado a cabo determinaciones de las tasas de sedimentación en distintos lugares de la cuenca del Río de la Plata (Cendrero et al., 2006; Bonachea et al., 2010) y en una serie de estuarios del N de España (Bruschi et al., 2013). Esas tasas se han comparado con varios posibles impulsores: las precipitaciones como principal impulsor natural e indicadores de la intensidad de actividades humanas que afectan al territorio, tales como población, producto interno bruto o consumo de energía y de cemento. En las figuras 4 y 5 se muestran, de manera simplificada, los resultados presentados en los trabajos citados. Como se puede apreciar, en la gran mayoría de los lugares analizados hay un aumento de las tasas de sedimentación, especialmente marcado en la segunda mitad del pasado siglo. También se observa que las tendencias de variación de los posibles impulsores humanos se asemejan a dichas tasas, tanto cuantitativa como cualitativamente, en mucha mayor medida que a las de las lluvias.

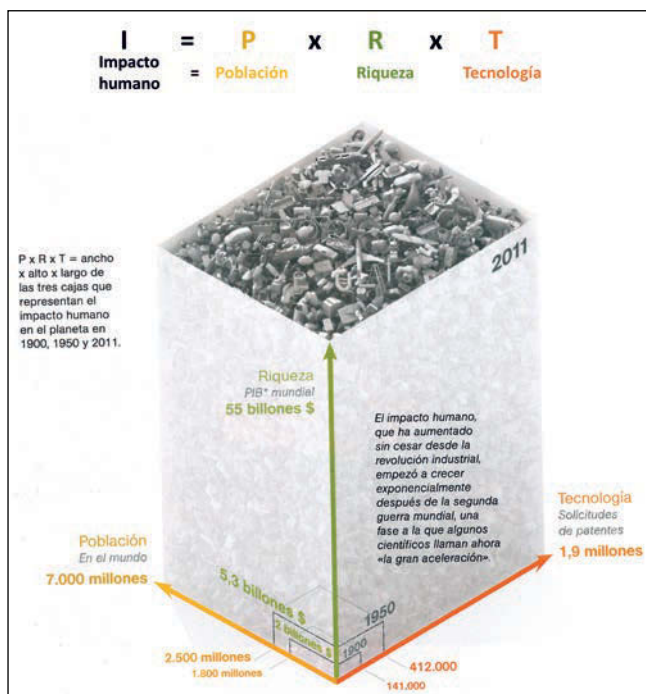


Figura 3. El impacto humano sobre el planeta, según Kolbert (2011).

Este tipo de efecto parece tener carácter global, tal como se ha puesto de manifiesto por parte de Syvitski

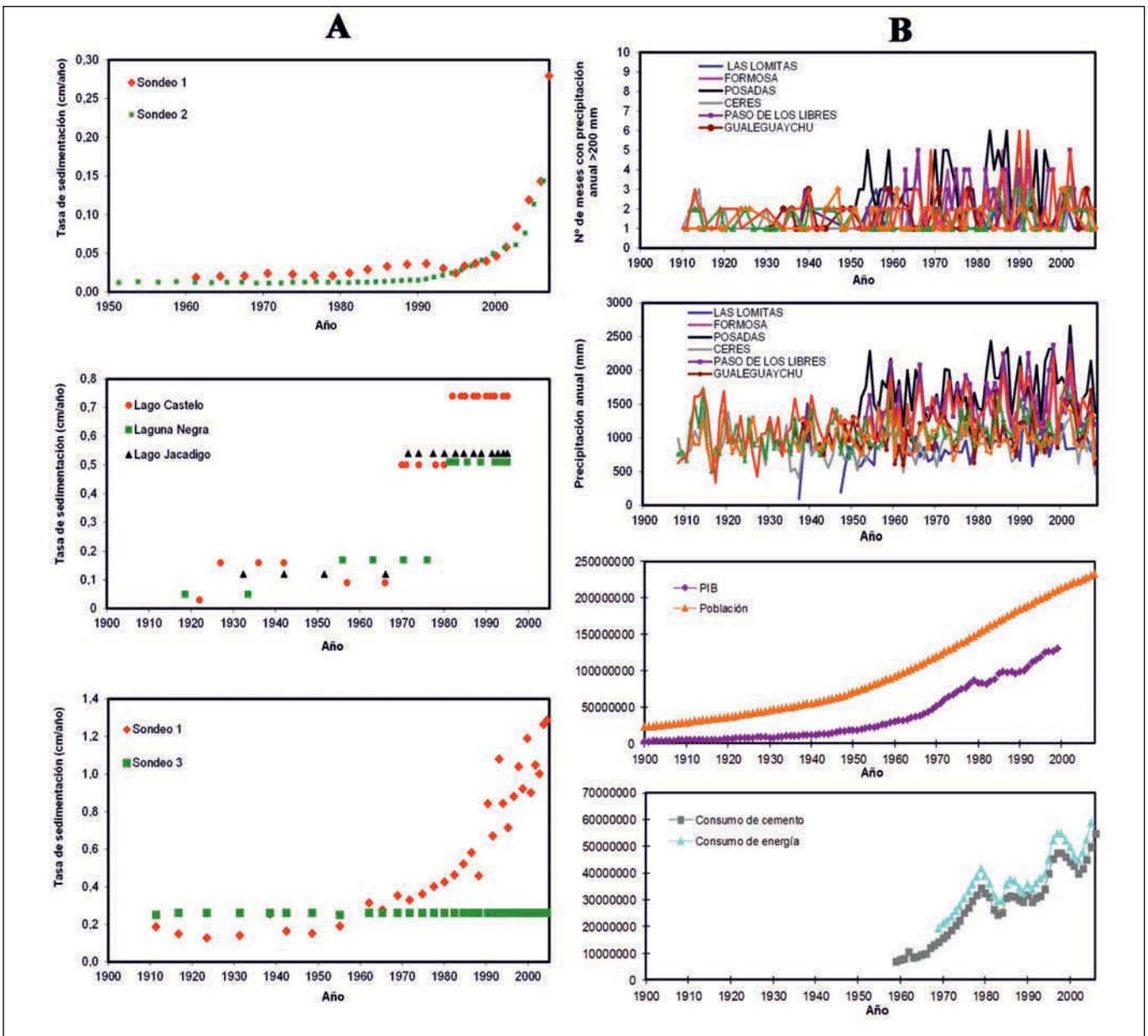


Figura 4. A) Tasas de sedimentación en tres lugares de la cuenca del Río de la Plata. Arriba, Embalse de Barra Bonita, São Paulo, Brasil. Centro, lagunas en el Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. Abajo, estuario del Río de la Plata, Argentina. B) Variación de las precipitaciones en distintas estaciones meteorológicas de la cuenca del Plata, así como población, PIB, consumo de energía y consumo de cemento en Brasil y Argentina, a lo largo del último siglo (a partir de Bonachea et al., 2010).

et al (2005) y Syvitski y Kettner (2011). Estos últimos autores señalan que el impacto humano en el transporte de sedimentos empezó hace 3000 años, se aceleró en los últimos 100 años y ha producido ya un efecto equivalente a un episodio geológico de cambio climático, como el tránsito Pleistoceno-Holoceno.

Los datos anteriores sugieren una relación causa-efecto entre el aumento de la capacidad de las personas

para producir cambios en la superficie terrestre, o “presión geomorfológica humana” (Bonachea et al., 2010), que se podría expresar como densidad de PIB ($\text{€ año}^{-1} \text{ km}^{-2}$) y la intensidad de los procesos geológicos superficiales. Este indicador y el “impacto humano” de Kolbert (2011), han aumentado, respectivamente 1 y 3 órdenes de magnitud desde comienzo del siglo XX. Como ya se ha indicado, el segundo implica una sobrevaloración, por redundancia

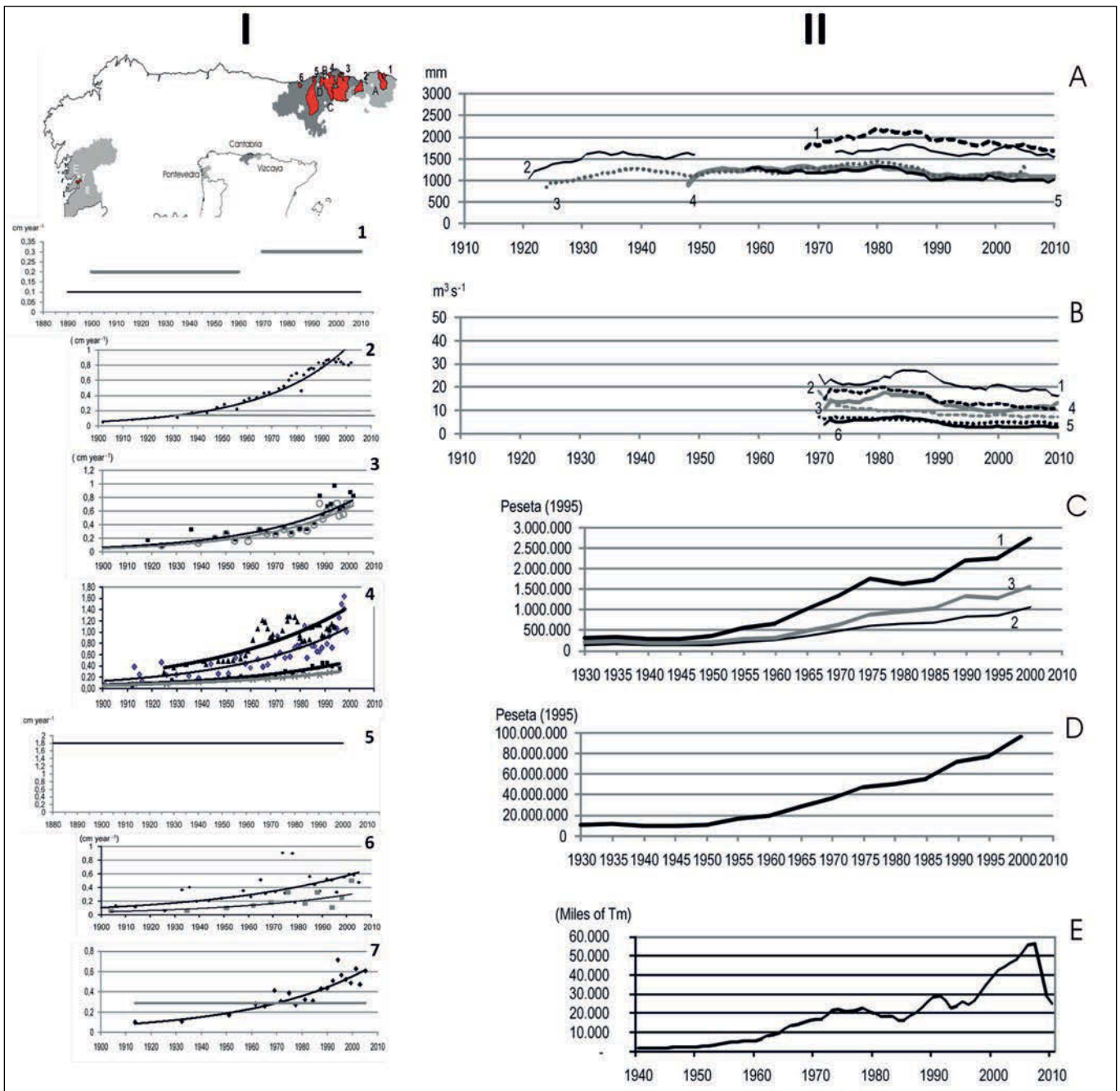


Figura 5. I). Variación de las tasas de sedimentación en varios estuarios del N de España, representados en el mapa. II). A y B, Variación de las precipitaciones y caudales en cuencas del N de España. C, Variación del PIB (provincias de Vizcaya [1], Cantabria [2] Pontevedra [3]. D, PIB del conjunto de España. E, consumo de cemento (España) (a partir de Bruschi et al., 2013a).

de variables. Independientemente de la magnitud del aumento, si dicha relación causa-efecto fuera correcta, tal como se contempla en los modelos de los autores anteriores, estaríamos ante una aceleración muy importante de los procesos geológicos superficiales, que podrían presentar en el Antropoceno características muy distintas a las de épocas anteriores.

Con el fin de determinar si a escalas espaciales mucho más reducidas las actividades humanas que impactan sobre el territorio muestran relaciones similares con la respuesta de los procesos geomorfológicos, **Bruschi et al. (2013 b)** han estudiado el desarrollo temporal y distribución espacial de los deslizamientos de tierras en dos

pequeñas áreas del valle del río Deva (Guipúzcoa), y las tasas de sedimentación en una pequeña cuenca de Cantabria, así como sus posibles relaciones con los cambios de uso del territorio, la red de vías de comunicación y las precipitaciones.

Los resultados obtenidos en las zonas de Guipúzcoa muestran que (a partir de 1954, fecha de los primeros datos disponibles) la frecuencia de los deslizamientos es mucho mayor en las áreas en las que la cobertura vegetal de cualquier tipo pasó a prados y cultivos, o bien en las que ya en 1954 tenían este tipo de uso, evidentemente resultado de cambios anteriores. Si se considera la evolución a lo largo del tiempo, el periodo más antiguo analizado siempre presenta una frecuencia menor que el más reciente, a pesar de que las precipitaciones totales o la frecuencia de lluvias intensas muestran una tendencia a la disminución, especialmente marcada a partir de 1980 (**Fig. 6**). En una de las zonas la frecuencia de deslizamientos pasa de $0,24 \text{ km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en el periodo 1954-69, a $1,0 \text{ km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ entre 2001 y 2006. En la otra los valores son, respectivamente, $0,07 \text{ km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ y $0,43 \text{ km}^{-2} \text{ año}^{-1}$.

También se ha encontrado una relación entre la distribución de los deslizamientos y la red de

carreteras. Según se aprecia en la **figura 6**, la frecuencia de deslizamientos disminuye con la distancia al eje de las carreteras en los dos periodos analizados, y es claramente mayor en el periodo más reciente (**Fig. 6**). Esto seguramente refleja, por un lado, las alteraciones de la superficie del terreno relacionadas con las obras de mejora de las carreteras y, por otro lado, el efecto de concentración de la escorrentía que estas infraestructuras producen.

En el caso de la pequeña cuenca de Rioturbio, en Cantabria, tampoco las precipitaciones explican de forma satisfactoria la tendencia al aumento de las tasas de sedimentación. Los datos obtenidos sugieren, pero con más dudas que en el caso anterior, una relación entre dicha tendencia y actividades tales como talas forestales, incendios o cambios de uso. En resumen, también a esta escala espacial reducida los datos muestran un aumento de la intensidad de los procesos geológicos superficiales con el tiempo, y también indican que la principal causa del mismo parece ser la modificación de la superficie terrestre, no el efecto del cambio climático.

Ahora bien, si una de las características del Antropoceno es una intensificación de los procesos

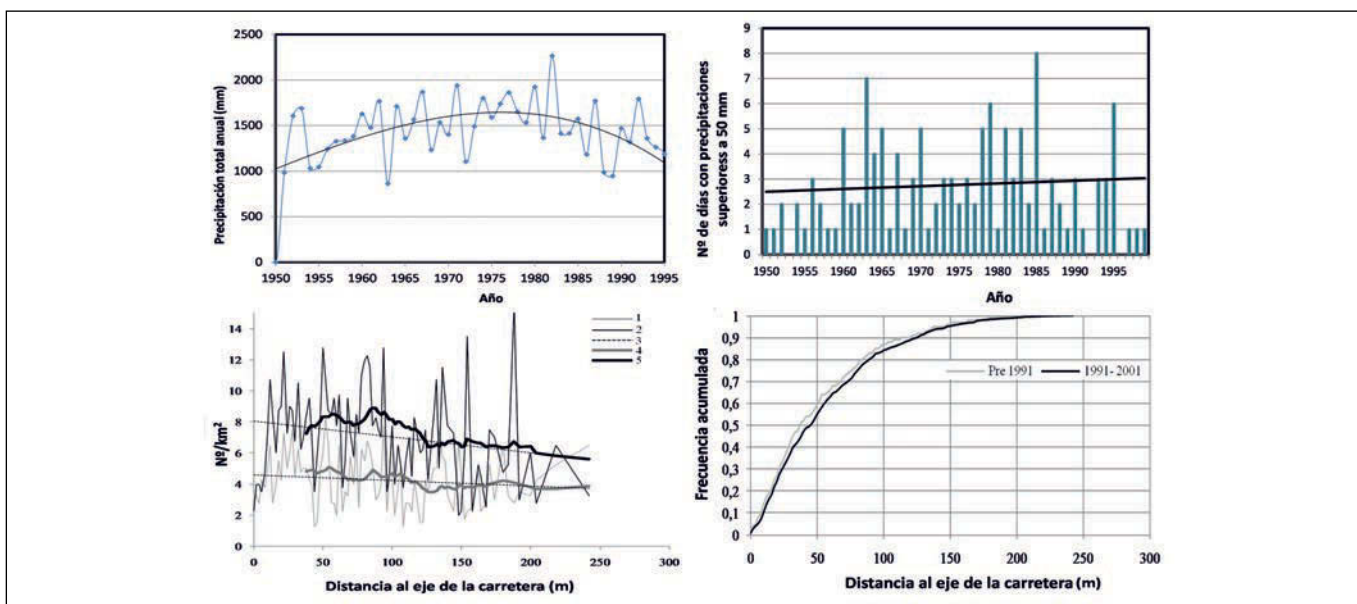


Figura 6. Variación de la precipitaciones en el valle del Deva (Guipúzcoa) desde 1950, y relación entre la frecuencia de deslizamientos y distancia al eje de las vías de comunicación en una zona de dicho valle, para los periodos pre-1991 y 1991-2001. (Bruschi et al., 2013 b). 1: frecuencia de 1991. 2: frecuencia 2001. 3: Tendencia lineal interpolada. 4: media móvil (20 m) 1991. 5: media móvil (20 m) 2001.

REGIÓN	FACTOR DE AUMENTO				COEFICIENTE DE CORRELACIÓN		
	CATEGORÍA DESASTRES			PIB	(1) - PIB	(2) - PIB	(3) - PIB
	Geológicos Internos (1)	Climáticos (2)	Geológicos Superficiales (3)				
ESTE DE ÁFRICA	2.7	2.7	4.6	2.3	0.1666	0.0235	0.1846
CENTRO DE ÁFRICA	1.3	1.2	2.6	1.6			
NORTE DE ÁFRICA	1.5	1.1	2.6	2.8			
SUR DE ÁFRICA	1.4	0.3	2.4	2.0			
OESTE DE ÁFRICA	0.9	0.0	3.4	2.3			
CARIBE	1.7	2.9	1.8	2.2	- 0.7639	0.0961	0.9772
AMÉRICA CENTRAL	1.1	2.7	3.3	2.4			
AMÉRICA DEL NORTE	1.7	2.6	2.2	2.3			
AMÉRICA DEL SUR	2.4	2.0	2.3	2.2			
ASIA CENTRAL	2.2	1.2	1.6	1.4	0.3765	0.8413	0.9635
ESTE DE ASIA	3.8	3.3	3.9	3.7			
SUDESTE DE ASIA	2.5	2.2	3.8	3.3			
SUR DE ASIA	2.4	2.2	3.4	3.5			
OESTE DE ASIA	0.0	1.5	3.3	2.8			
ESTE DE EUROPA	0.9	1.9	2.8	1.8	0.4572	- 0.4920	0.2797
NORTE DE EUROPA	1.5	1.0	1.3	2.0			
SUR DE EUROPA	1.0	1.4	3.5	2.1			
OESTE DE EUROPA	0.5	5.5	1.9	1.9			
TODAS LAS REGIONES					0.4842	0.1650	0.5898
TODAS LAS REGIONES EXCLUIDA EUROPA					0.3981	0.4255	0.6051
AMÉRICA+ASIA					0.3879	0.4702	0.8990
AMÉRICA (EXCLUIDA AMÉRICA DEL NORTE)					- 0.7668	0.1050	0.9843

Cuadro 2. Factor de aumento de los distintos desastres naturales y correlación con el PIB (1950-2008). En verde, valores acordes con el modelo; en amarillo, valores no acordes con el modelo.

geológicos superficiales, y dicha intensificación es consecuencia de la cadena de relaciones expresada más arriba, cabría esperar que esto se manifestara en la frecuencia de los desastres naturales causados por los citados procesos, fundamentalmente deslizamientos e inundaciones. Existen tres grandes grupos de desastres naturales de tipo no biológico: geológicos internos (terremotos y erupciones volcánicas), climáticos (tormentas, lluvias intensas, sequías) y geológicos superficiales o hidrogeomorfológicos (inundaciones y deslizamientos). Para todos ellos es de esperar que exista una relación entre frecuencia (establecida a partir de las bases de datos que recopilan estos eventos a nivel global) y Producto Interno Bruto (PIB).

El aumento del PIB implica un aumento de los elementos humanos que pueden sufrir daños (personas, viviendas, infraestructuras, cultivos, etc.), y por lo tanto de la probabilidad de que un episodio peligroso produzca daños y sea catalogado como desastre. Además, ese aumento del PIB también trae consigo una mejora en los procesos de recogida de informa-

ción, lo que se debería reflejar en una recopilación más completa de los desastres con el tiempo. Por otro lado, es bien sabido que el aumento del PIB se relaciona estrechamente con la emisión de gases de efecto invernadero y el cambio climático, una de cuyas manifestaciones es el aumento de la frecuencia de episodios climáticos extremos. Finalmente, si existe un cambio geomorfológico global como el que aquí se comenta, el aumento del PIB tendría como consecuencia una creciente alteración de la superficie terrestre. El primero de los factores indicados debería afectar a los tres tipos de desastres, el segundo a los de tipo climático e hidrogeomorfológico, y el tercero solamente a estos últimos. Por tanto, si el modelo propuesto es correcto, el mayor aumento en la frecuencia de los desastres debería corresponder a los debidos a procesos geológicos superficiales, seguidos de los estrictamente climáticos y de los geológicos de origen interno. Además, la mejor correlación entre PIB y frecuencia de desastres se debería encontrar para los desastres de tipo hidrogeomorfológico y la peor para los geológicos internos.

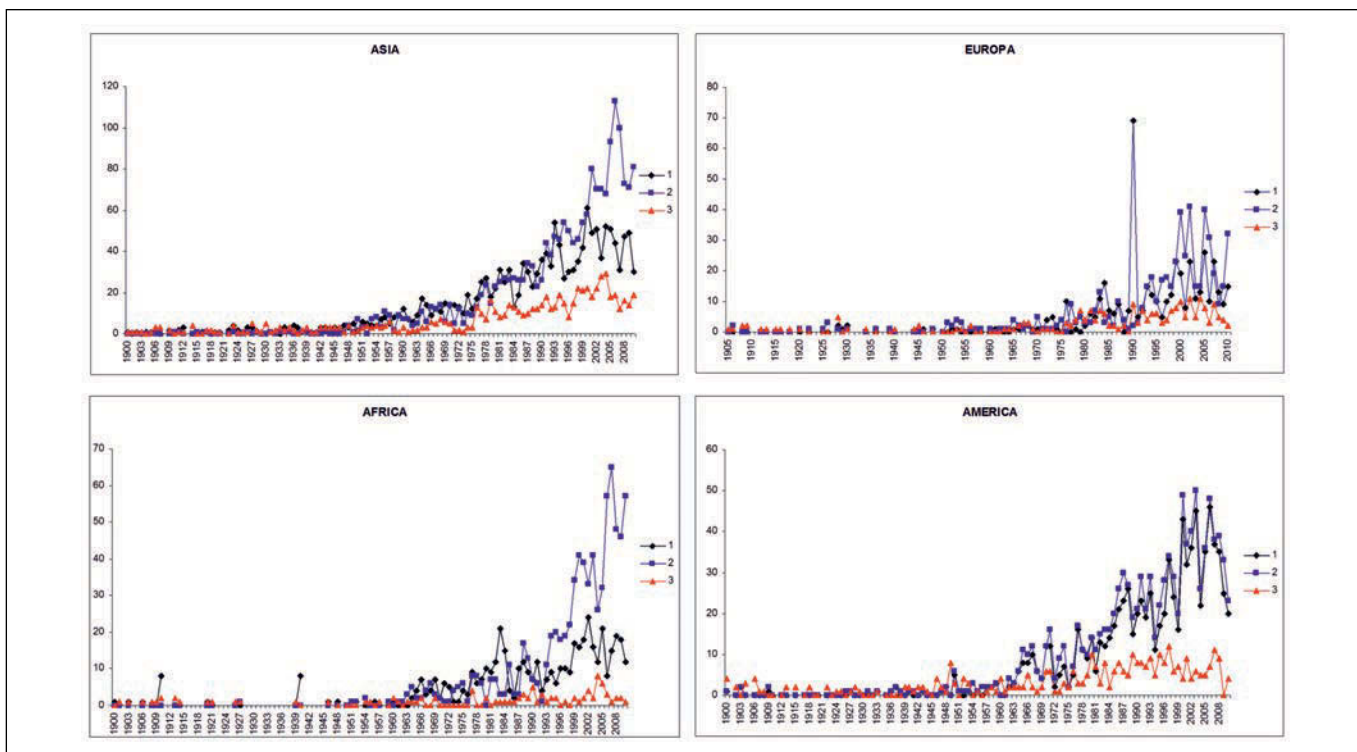


Figura 7. Frecuencia de desastres naturales en distintos continentes, desde 1900. 1. Desastres de tipo climático; 2. Desastres debidos a procesos geológicos superficiales; 3. Desastres debidos a procesos geológicos internos (Forte, 2011).

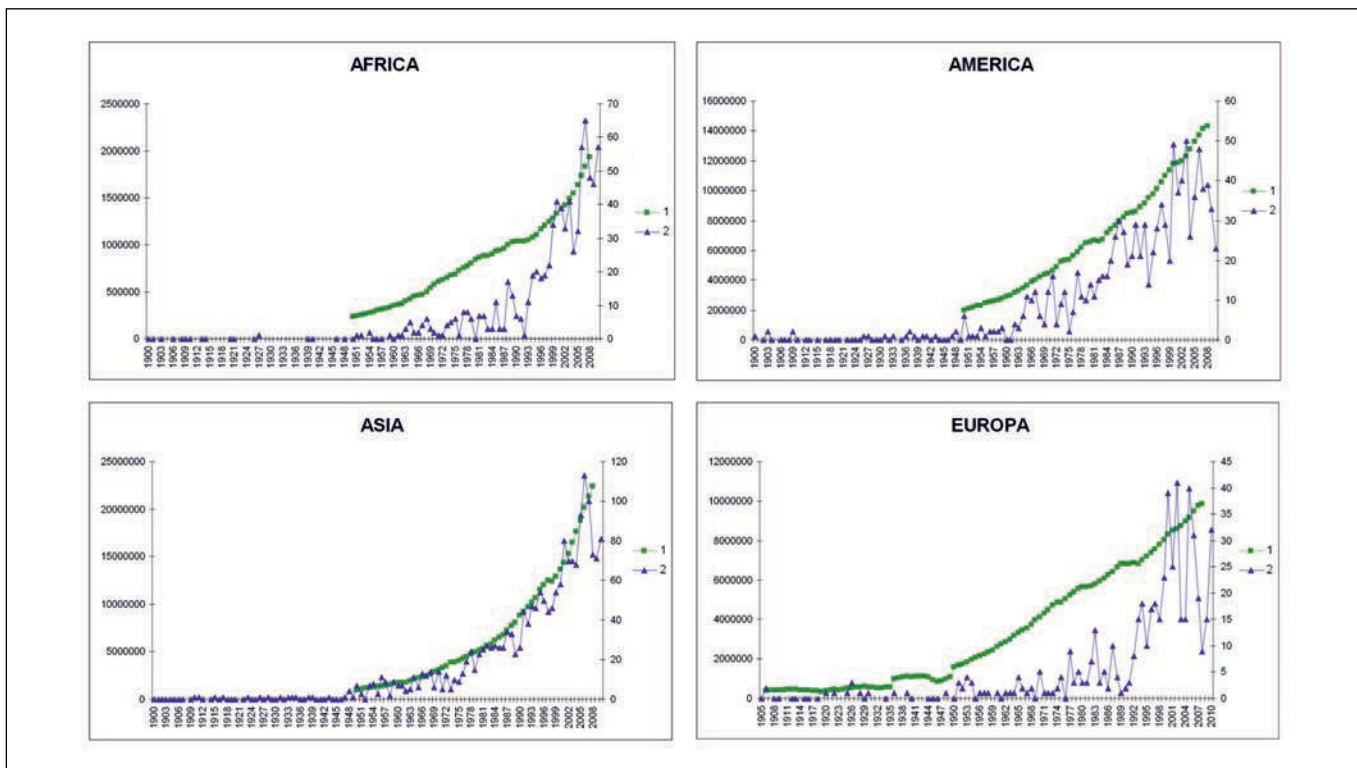


Figura 8. PIB (1, en 10^6 US\$) y frecuencia de desastres naturales debidos a procesos geológicos superficiales (2) en distintos continentes (Forte, 2011).

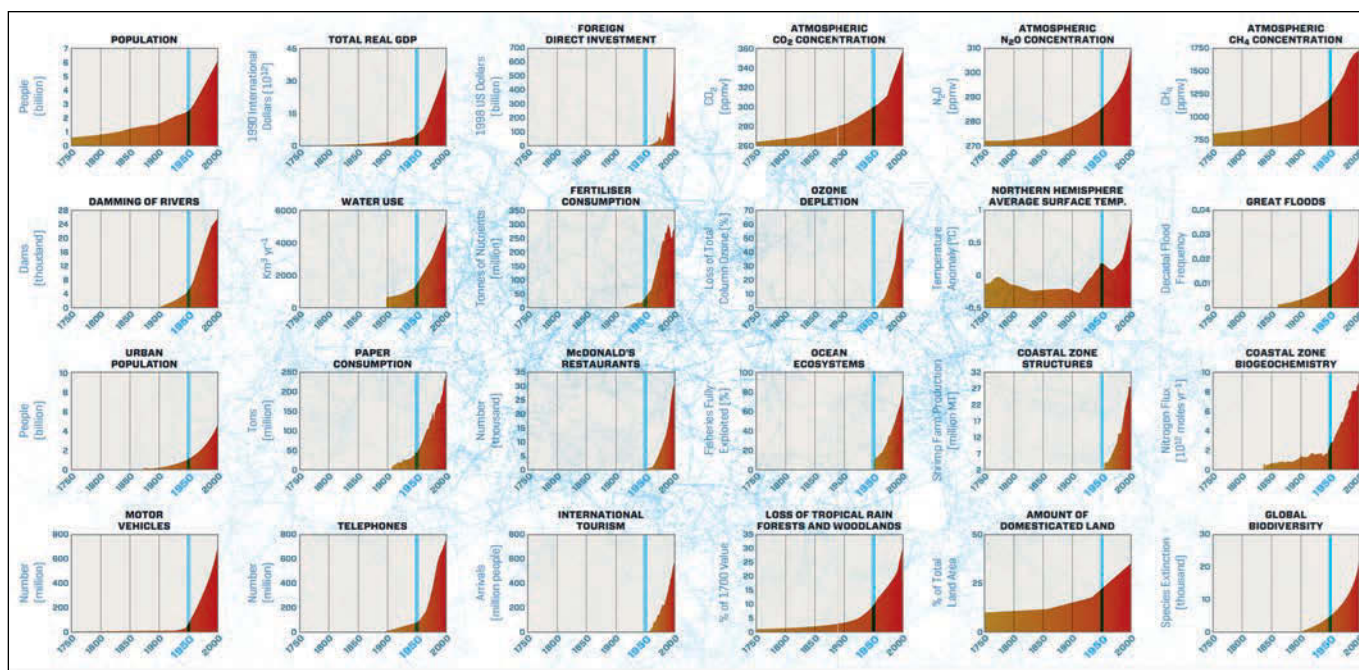


Figura 9. La “Gran Aceleración” de Steffen et al. (2011)

Un análisis realizado por **Forte (2011)**, con datos de distintas bases de datos de ámbito global, ha arrojado los resultados que se resumen en las **figuras 7 y 8** y el **cuadro 2**. Según se puede apreciar, las tendencias de aumento de los desastres en los cuatro continentes para los que se han podido obtener datos de calidad razonable, siguen la pauta esperada. El factor de aumento de los desastres también se comporta según lo esperado en la gran mayoría de las regiones. Para aquellas en las que eso no ocurre, no es difícil encontrar explicaciones verosímiles.

Es de señalar que desde 1950 ha habido un generalizado y considerable incremento de la frecuencia de los desastres debidos a procesos geológicos superficiales, con factores de aumento que oscilan entre 3 y 40. Sin embargo, según muestran los datos presentados por el **IPCC (2007)**, las precipitaciones totales o la frecuencia de lluvias intensas en ese mismo periodo han aumentado ligeramente en unas regiones del mundo y permanecido estables o disminuido en otras. Aunque esto no puede considerarse como una evidencia concluyente, sí que sugiere, en contra de lo que indican **Steffen et al. (2011, ver figura 9)**, que difícilmente podemos achacar a las lluvias el creciente impacto de los riesgos geológicos superficiales.

EL INICIO DEL ANTROPOCENO

Los datos presentados más arriba dejan pocas dudas sobre la gran y creciente influencia de la especie humana sobre las distintas esferas terrestres y sobre los procesos que funcionan en las mismas. Sin embargo, sí se pueden plantear dudas sobre la pertinencia de establecer una nueva época geológica basada en esos cambios y sobre cual sería el momento de inicio de la misma.

Tal como se ha indicado al inicio del apartado anterior, para definir el momento de inicio del Antropoceno podría acudirse a criterios de tipo cualitativo o cuantitativo. Básicamente se pueden considerar tres opciones:

- A) El Antropoceno se podría establecer a partir del momento en el que se detecta la influencia humana sobre el medio y los procesos naturales. Esto nos llevaría al menos al principio del Holoceno, especialmente a partir del momento en que se inicia el desarrollo de la agricultura y la ganadería, con la consiguiente modificación del entorno.
- B) Podríamos considerar que la nueva época se inicia cuando los seres humanos desarrollan la

capacidad de utilizar energía en grandes cantidades y, con ello, el potencial de modificar de manera profunda la superficie terrestre, la cobertera vegetal, la atmósfera y la hidrosfera. Esto es, el inicio de la Revolución Industrial (Crutzen, 2002).

- C) Finalmente, el criterio podría ser el momento en el cual la influencia humana sobre los rasgos y procesos del planeta alcanza una magnitud equivalente o superior a la debida a los agentes naturales. Esto es, un criterio cuantitativo, no simplemente de ausencia/presencia. Esto representaría el momento en el cual el potencial de cambiar la realidad da paso a la modificación real, masiva y generalizada, de esa realidad.

A este respecto resulta interesante observar los gráficos de la **figura 9** (Steffen et al., 2011). Es evidente que tanto los indicadores de la intensidad de las actividades humanas (lado izquierdo de la figura) como los de los efectos sobre el medio (lado derecho), muestran un fuerte aumento hacia la mitad del pasado siglo. Lo mismo ocurre con las tasas de sedimentación (**figuras 4 y 5**) o la frecuencia de los desastres debidos a procesos geológicos superficiales (**figuras 7 y 8**), lo que indica que la “Gran Aceleración” incluye una “gran aceleración geomorfológica”. Esta gran aceleración, que de manera generalizada afecta al planeta, dejará en el registro geológico numerosas huellas o marcadores estratigráficos (en la naturaleza de los sedimentos, su composición química y sus tasas de acumulación; en la composición química de los hielos polares y de los gases atrapados en ello; en la presencia/ausencia o abundancia relativa de especies, etc.) que permitirán identificar la misma en el futuro. Dicha aceleración se inició como consecuencia de la gran expansión demográfica y económica que siguió a la Segunda Guerra Mundial, y podría marcar el comienzo del Antropoceno.

de esto van mucho más allá de la posible definición de una nueva época geológica y del establecimiento de su límite (¿neto, gradual?). De ser cierto lo anterior, el Antropoceno estaría caracterizado, entre otras cosas, por una fuerte intensificación de los procesos geológicos superficiales y un gran aumento, de varios órdenes de magnitud, de los riesgos debidos a los mismos.

Todo parece indicar que ya estamos en una situación en la cual la evolución biológica y las extinciones de especies, así como la variación de la composición de la atmósfera y la hidrosfera y la evolución del clima están condicionadas sobre todo por la influencia humana. En lo que se refiere a los procesos geológicos superficiales, la contribución de las personas parece ser al menos un orden de magnitud superior a la de los agentes naturales. Esa contribución probablemente aumentará un orden de magnitud o más antes de que acabe el presente siglo. Si la hipótesis que aquí se plantea es correcta, el fuerte aumento observado en la frecuencia de los desastres debidos a procesos geológicos superficiales no se debería principalmente (como habitualmente se indica) al cambio climático, sino al *cambio geomorfológico global*.

El tránsito del Holoceno al Antropoceno habría tenido lugar en un tiempo geológicamente brevísimo, que podríamos situar, teniendo en cuenta distintos criterios, entre finales del siglo XVIII y el final de la Segunda Guerra Mundial. De tomar este último límite, el final de esa guerra representaría no solo un hito de gran importancia en la historia de la Humanidad, sino también en la historia de la Tierra, cuyo funcionamiento estaría condicionado principalmente, a partir de entonces, por la influencia de la especie humana, algo sin precedente en los 4.600 millones de años de historia del planeta.

COMENTARIO FINAL

Todo lo descrito caracteriza un tiempo lo suficientemente distinto de los anteriores como para justificar el establecimiento del Antropoceno como una nueva época de la historia geológica. Pero las implicaciones

AGRADECIMIENTOS

Lo que se presenta en este artículo se apoya en resultados obtenidos a través de los proyectos CAMGEO (CGL2006-11431, Plan Nacional de I+D, España), DO-SMS (SOE1/P2/F157, EU-FEDER) y Programa PIT-AP, 2010 (UNLP, Argentina).

REFERENCIAS

1. Bonachea, J., Bruschi, V.M., Hurtado, M., Forte, L.M., da Silva, M., Etcheverry, R., Cavallotto, J.L., Dantas, M., Pejon, O., Zuquette, L., Bezerra, M.A., Remondo, J., Rivas, V., Gómez-Arozamena, J., Fernández, G., Cendrero, A. **2010**. Natural and human forcing in recent geomorphic change; case studies in the Rio de la Plata basin. *Science of the Total Environment* 408, 2674-2695.
2. Brown, H. **1956**. Technological denudation. En: Thomas WL, editor. Man's role in changing the face of the earth. Univ. of Chicago Press, Chicago. pp. 1023-1032.
3. Bruschi, V. M., Bonachea, J., Remando, J., Gómez-Arozamena, J., Rivas, V., Méndez, G., Naredo, J. M., Cendrero, A. **2013a**. Analysis of geomorphic system's response to natural and human drivers in northern Spain; implications for global geomorphic change. *Geomorphology*, 196: 267-279.
4. Bruschi, V.M., Bonachea, J., Remondo, J., Gómez-Arozamena, J., Rivas, V., Barbieri, M., Capocchi, S., Soldati, M., Cendrero, A. **2013 b**. Land management versus natural factors in land instability; some examples in northern Spain. *Environmental Management*, 52: 398-416.
5. Cendrero, A. & Douglas, I. **1996**. Earth surface processes, materials use and urban development; project aims and methodological approach. Abstracts with programs, GSA Annual Meeting, Denver: A-79.
6. Cendrero, A., Remondo, J., Bonachea, J., Rivas, V., Soto, J. **2006**. Sensitivity of landscape evolution and geomorphic processes to direct and indirect human influence. *Geogr Fis Geodin Cuatern* 29, 125-137.
7. Crutzen, P.J. **2002**. Geology of mankind. *Nature* 415, 23-23.
8. Forte, L.M. **2011**. Análisis de las tendencias de variación en las tasas de actividad de los procesos geomorfológicos y de sus implicaciones para los riesgos naturales. Trabajo de fin de Master, Universidad de Cantabria.
9. 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.
10. IPCC **2007**. Climate change 2007: synthesis report. Cambridge University Press, Cambridge.
11. Kolbert, E. **2011**. Con ustedes el Antropoceno. La era del hombre. *National Geographic*, Marzo 2011, 24-47.
12. Marsh, G.P. **1874**. The Earth as modified by human action (a new edition of Man and Nature, 1856). New York: Scribner, Armstrong & Co.
13. Price, S.J., Ford, J.R., Cooper, A.H., Neal, C. **2011**. Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground in Great Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* A369: 1056-1084.
14. Remondo, J., Bonachea, J., Cendrero, A. **2005**. Landslide risk modeling at basin scale; from susceptibility to quantitative risk assessment. *Landslides* 2, 321-328.
15. Rivas, V., Cendrero, A., Hurtado, M., Cabral, M., Giménez, J., 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.
16. Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P., McNeill, J. **2011**. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 369: 842-867.
17. Syvitski, J.P.M. & Kettner, A. **2011**. Sediment flux and the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 369: 957-975.
18. Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C.J., Kettner, A.J., Green, P. **2005**. Impacts of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science* 308, 376-380.
19. Ter-Stepanian, G. **1988**. Beginning of the Technogene. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 38, 133-142.