



“El final del siglo XVIII marca el momento en el que empezamos a adquirir, como especie, la capacidad de modificar de forma profunda el planeta, pero la modificación real y generalizada se produce a partir de mediado el siglo XX.”

EL CAMBIO GLOBAL Y EL ANTROPOCENO; MÁS ALLÁ DEL CLIMA

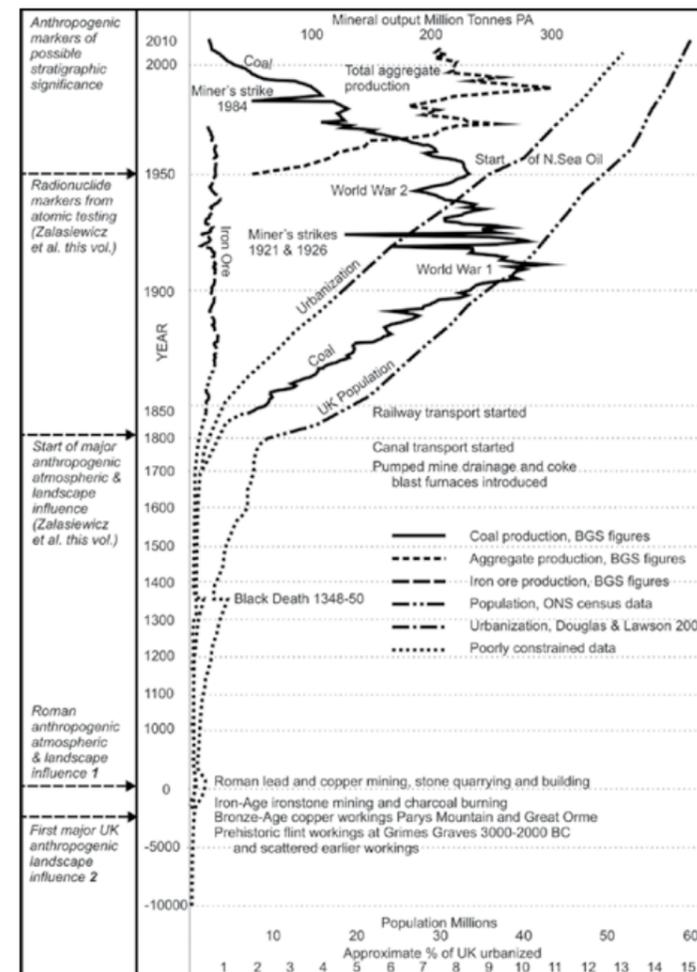
**POR VIOLA BRUSCHI, JAIME BONACHEA,
JUAN REMONDO, LUIS M. FORTE,
MARTÍN HURTADO Y ANTONIO CENDRERO**

El cambio global y el Antropoceno; más allá del clima

Las reflexiones que aquí se presentan están extraídas de una presentación realizada en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza sobre la base de trabajos de los distintos autores firmantes, que posteriormente ha sido plasmada en un artículo.¹ No tienen, por tanto, ninguna pretensión de novedad u originalidad, sino que simplemente intentan divulgar ciertas ideas sobre los cambios que actualmente está experimentando nuestro planeta, y hacer que nos cuestionemos si el cambio climático es verdaderamente "la explicación" de casi todos esos cambios.

Desde mediados del siglo XIX se ha expresado preocupación por las consecuencias de la acción humana sobre el planeta,² y esa preocupación está actualmente en primera línea de

la opinión pública y de la agenda política internacional. En el ámbito científico, han surgido propuestas para definir una nueva época en la Historia de la Tierra, caracterizada por los procesos y cambios debidos a los seres humanos. Así, Ter-Stepanian propuso el término *Tecnógeno* o *Quinario*³ y Crutzen el de *Antropoceno*⁴. Evidentemente, discutir (y, en su caso, decidir) si debemos aceptar o no esas propuestas tiene interés académico, pero no cambiará la realidad. Lo que seguramente tiene más interés, para la mayoría de las personas, es avanzar en el conocimiento de los cambios que han ocurrido y de sus causas, así como de los cambios esperables en el futuro y sus consecuencias. Basándose en un mejor conocimiento científico, se podrán identificar los cambios no deseados y proponer medidas para evitarlos, corregirlos o adaptarnos a ellos.



Posibles marcadores estratigráficos del inicio del Antropoceno en Gran Bretaña.

Price et al., 2011.

fecha de inicio, teniendo en cuenta que dichos criterios deberían corresponder a huellas que quedarían en el registro geológico futuro, identificables dentro de miles o millones de años (si hay en ese momento seres inteligentes que puedan identificarlas). Ejemplos de esas posibles huellas se muestran en la figura anexa.⁵

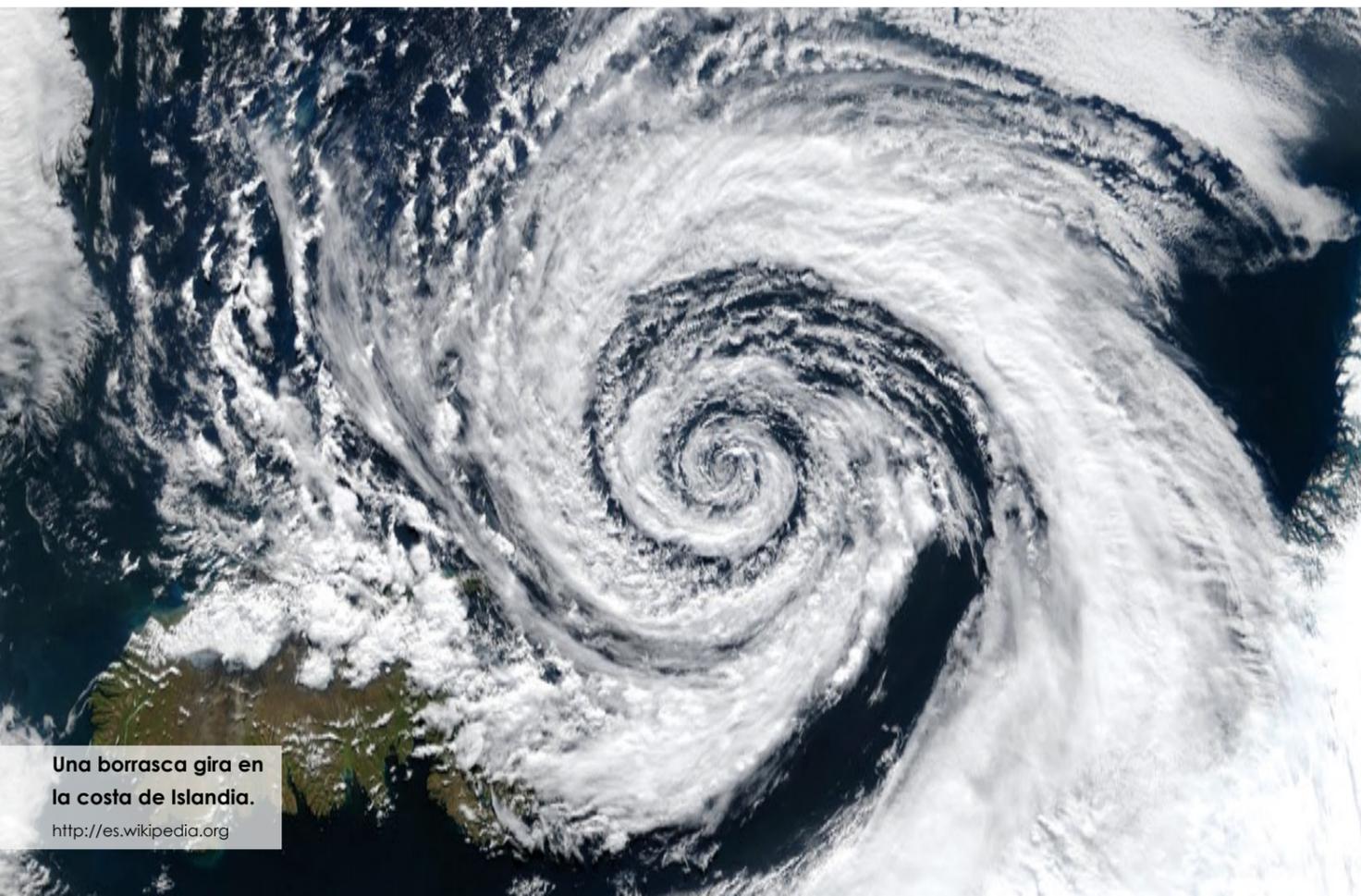
¿ES EL CLIMA EL CRITERIO MÁS ADECUADO PARA DEFINIR EL ANTROPOCENO Y ESTABLECER SU INICIO?

Según la propuesta de Crutzen "se puede considerar que el Antropoceno se habría iniciado al final del siglo XVIII, cuando, según muestran los análisis de gases atrapados en hielos polares, comienza el aumento reciente de las concentraciones de

dióxido de carbono y metano en la atmósfera". Tal como señala el citado autor, eso coincide con la invención de la máquina de vapor de Watt; esto es, el inicio de la Revolución Industrial.

Ahora bien, de acuerdo con lo mostrado en la figura anterior, hace tiempo que la actividad humana ha introducido cambios cualitativos importantes en el planeta, que pueden dejar huellas identificables en el registro sedimentario; muchos de esos cambios afectan a los procesos geológicos superficiales. Si el Antropoceno se considerase una nueva época de la Historia geológica ¿deberíamos establecer su inicio sobre la base de un **criterio cualitativo** (presencia

El tránsito entre las distintas divisiones de los tiempos geológicos ha venido marcado por cambios en características del planeta que incluyen condiciones climáticas, fauna y flora existentes, funcionamiento de los procesos geológicos, distribución de tierras y mares, etc. Esos cambios han dejado ciertas huellas identificables en el registro geológico tales como, entre otras, la composición, textura y estructura de sedimentos y rocas, fauna y flora fósil o rasgos geomorfológicos. En la discusión académica sobre la conveniencia o no de establecer esa nueva época se debe analizar si la etapa actual presenta características suficientemente diferentes a las de etapas anteriores, así como los posibles criterios a considerar para definir su



Una borrasca gira en la costa de Islandia.

<http://es.wikipedia.org>

El cambio global y el Antropoceno; más allá del clima

de huellas de influencia humana) o bien de un **criterio cuantitativo** (a partir del momento en el que la influencia humana adquiere una importancia significativa, superior a la de los agentes naturales)? Hay razones para pensar que una característica importante de esa posible nueva época geológica es un marcado aumento de las tasas de los procesos geológicos superficiales ("cambio geomorfológico global")⁶, y que ese aumento generalizado es bastante reciente.

Para definir el momento de inicio del Antropoceno se pueden considerar básicamente tres opciones:

- El 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, hace unos 11.000 años, especialmente a partir del momento en que se inicia el desarrollo de la agricultura y la ganadería, con la consiguiente modificación del entorno.
- 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 cobertura vegetal, la atmósfera y la hidrosfera; esto es, el inicio de la Revolución Industrial.
- Cuando la influencia humana sobre los rasgos y procesos del planeta alcanza una magnitud equivalente o superior a la debida a los agentes naturales. Este sería un criterio de importancia cuantitativa, no simplemente de ausencia/presencia, que indicaría el momento en el cual el **potencial** de cambiar el medio da paso a la **modificación real**, masiva y generalizada, de ese medio.

Hay un conocimiento bastante extendido entre el público en general sobre los cambios que las personas hemos producido en el pasado

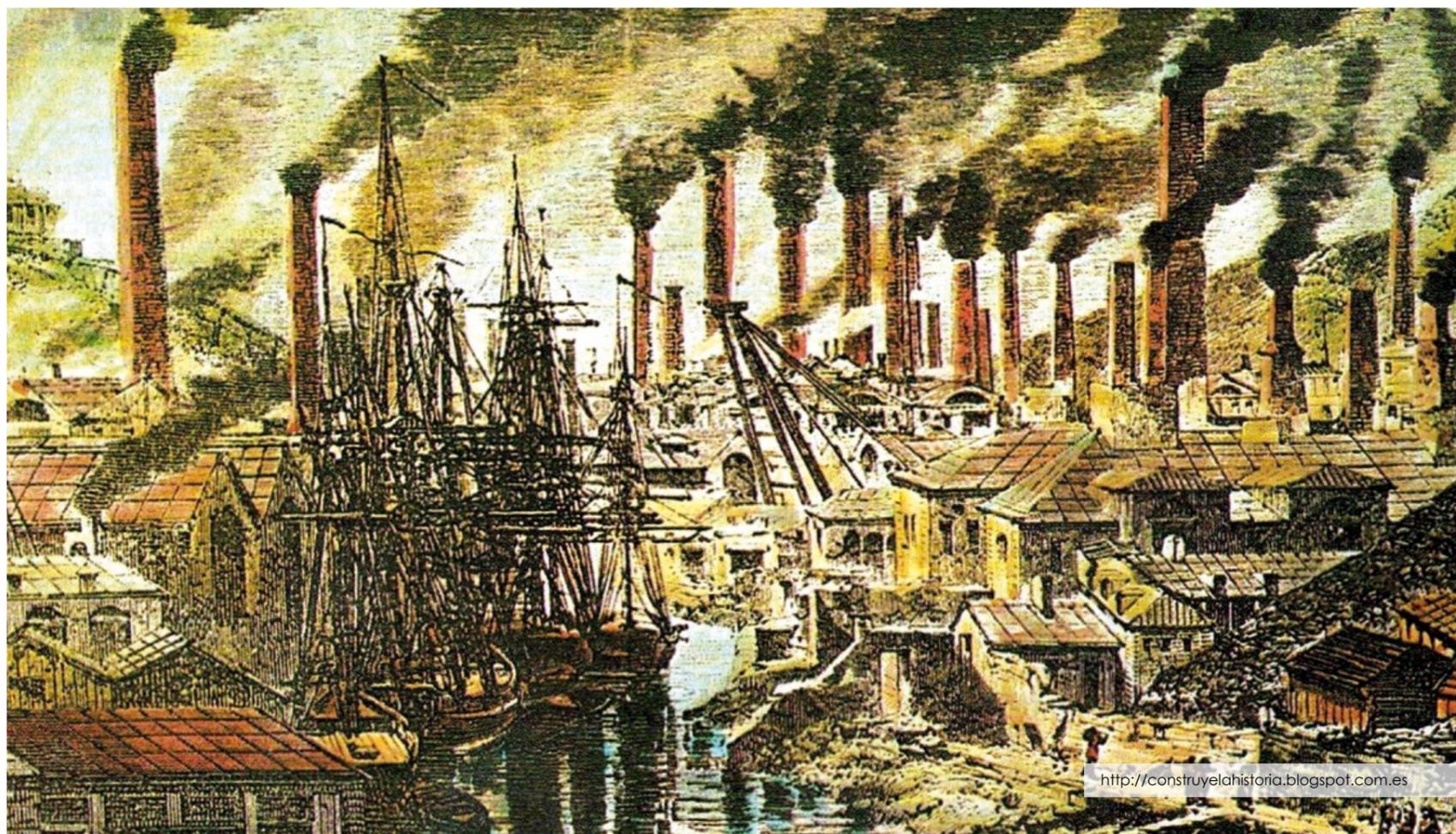
reciente, o estamos produciendo en la actualidad, sobre el clima y la biodiversidad. Son mucho menos conocidos los causados en los rasgos o procesos geológicos, aunque estos han alcanzado niveles significativos. Por ejemplo, González-Díez y otros han señalado que las tasas de denudación por deslizamientos de tierras en la zona cantábrica aumentaron un orden de magnitud con la entrada de los pobladores neolíticos y la modificación de la cobertura vegetal que llevaron a cabo.⁷ Otro ejemplo son las numerosas "antropogeofomas" (explotaciones mineras, ciudades, grandes obras civiles, etc.) que desde hace siglos (e incluso milenios) han ido modificando el paisaje, y que cada vez aumentan más rápidamente.

La magnitud de esos cambios se puede expresar por medio del concepto de la "huella geomorfológica humana": superficie de nuevas "antropogeofomas" construidas y volumen de material geológico desplazado anualmente por acción humana.⁸ Estimaciones iniciales de esa huella a nivel global indican que el volumen de materiales geológicos movilizados por la acción humana es en la actualidad, probablemente, un orden de magnitud superior al desplazado por los procesos geológicos superficiales, y que la superficie ocupada por nuevas "antropogeofomas" crece a una tasa de unos 50.000 km²/año. Ambos valores crecen, como es lógico, con el aumento de la población y la economía. Una extrapolación conservadora, sobre la base de las tendencias de variación de la población y producto bruto mundiales, indica que la huella geomorfológica humana acumulada a lo largo del presente siglo probablemente será de 5-10 x 10⁶ km²; es decir, una extensión de magnitud continental en un tiempo geológicamente insignificante.

Una modificación de esa magnitud es de esperar que se refleje en el funcionamiento de los procesos geológicos que operan en la superficie terrestre, determinados, fundamentalmente, por la interacción entre el agua y la capa superficial del terreno. Si el cambio geomorfológico global fuera una realidad, debería existir una aceleración generalizada 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, entre estos últimos, de manera significativa, el clima (a su vez modificado de manera importante por la acción humana).

Datos sobre las tasas de sedimentación, en distintos lugares del mundo, muestran que, en la mayoría de los lugares analizados, hay un aumento de las mismas, y que ese aumento es especialmente

“El volumen de materiales geológicos movilizados por la acción humana es en la actualidad, probablemente, un orden de magnitud superior al desplazado por los procesos geológicos superficiales.”

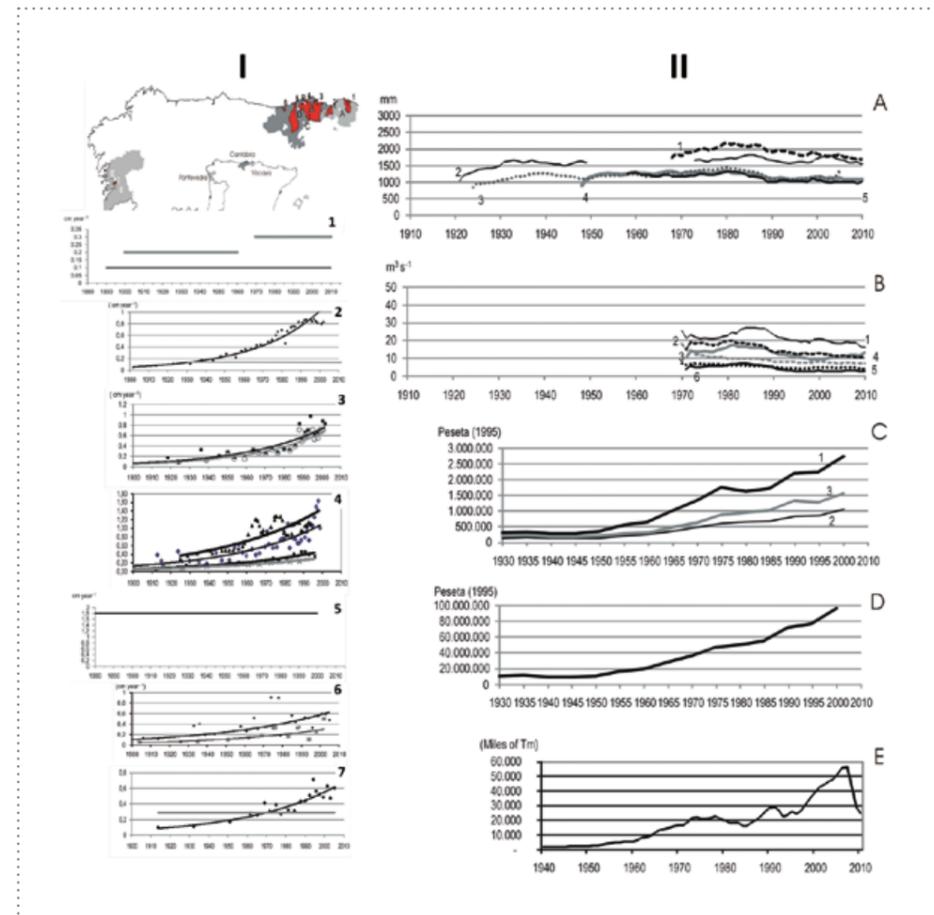


El cambio global y el Antropoceno; más allá del clima

marcado a partir de mitad del siglo XX.^{1,6,9,10,11} También, que las variaciones en las precipitaciones (totales anuales o frecuencia de episodios de lluvias intensas) a lo largo de los mismos periodos no siguen tendencias similares a las mostradas por indicadores de la intensidad de los procesos geológicos superficiales, pero que ese paralelismo sí parece existir con las variaciones de indicadores relacionados con la intensidad de la influencia humana. A modo de ejemplo se muestra el caso de la zona norte de España.

Parece, por tanto, que puede existir una relación causa-efecto entre el aumento de la capacidad de las personas para producir cambios en la superficie terrestre ("presión geomorfológica humana",¹⁰ que puede expresarse como

PIB(Euros)año⁻¹ km⁻²), e intensidad de los procesos geológicos superficiales. Las múltiples formas de alteración de la superficie terrestre por acción humana (excavaciones, construcciones, actividades forestales, agricultura, cambios de uso del territorio en general) parecen estar dando lugar a que aumente la sensibilidad (o que disminuya la "resiliencia") de la capa superficial del terreno ante la acción del agua, con lo que intensidades similares de lluvia en tiempos recientes estarían provocando efectos geomorfológicos (deslizamientos, denudación, sedimentación, inundaciones) mucho mayores que en el pasado. Esto es, una característica del Antropoceno parece ser esa mayor intensidad de los procesos geomorfológicos que, en algunos casos, ha aumentado un orden de magnitud en medio siglo.



I) Variación de las tasas de sedimentación en varios estuarios del norte de España, representados en el mapa.

II) A y B, variación de las precipitaciones y caudales en cuencas del norte de España. C, variación del PIB en las provincias de Vizcaya [1], Cantabria [2] Pontevedra [3]. D, PIB del conjunto de España. E, consumo de cemento (España).

Bruschi *et al.*, 2012a.

REGIÓN	FACTOR DE AUMENTO - CATEGORÍA DE DESASTRES		
	Geológicos internos	Climáticos	Geológicos superficiales
Este de África	2,7	2,7	4,6
Centro de África	1,3	1,2	2,6
Norte de África	1,5	1,1	2,6
Sur de África	1,4	0,3	2,4
Oeste de África	0,9	0,0	3,4
Caribe	1,7	2,9	1,8
América Central	1,1	2,7	3,3
América del Norte	1,7	2,6	2,2
América del Sur	2,4	2,0	2,3
Asia Central	2,2	1,2	1,6
Este de Asia	3,8	3,3	3,9
Sudeste de Asia	2,5	2,2	3,8
Sur de Asia	2,4	2,2	3,4
Oeste de Asia	0,0	1,5	3,3
Este de Europa	0,9	1,9	2,8
Norte de Europa	1,5	1,0	1,3
Sur de Europa	1,0	1,4	3,5
Oeste de Europa	0,5	5,5	1,9

Si una de las características del Antropoceno es una intensificación de los procesos geológicos superficiales, y dicha intensificación es consecuencia de la creciente influencia humana, 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 geológi-

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

cos 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 glo-

El cambio global y el Antropoceno; más allá del clima

bal) 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 información, 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 la hipótesis propuesta es correcta, 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.

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.

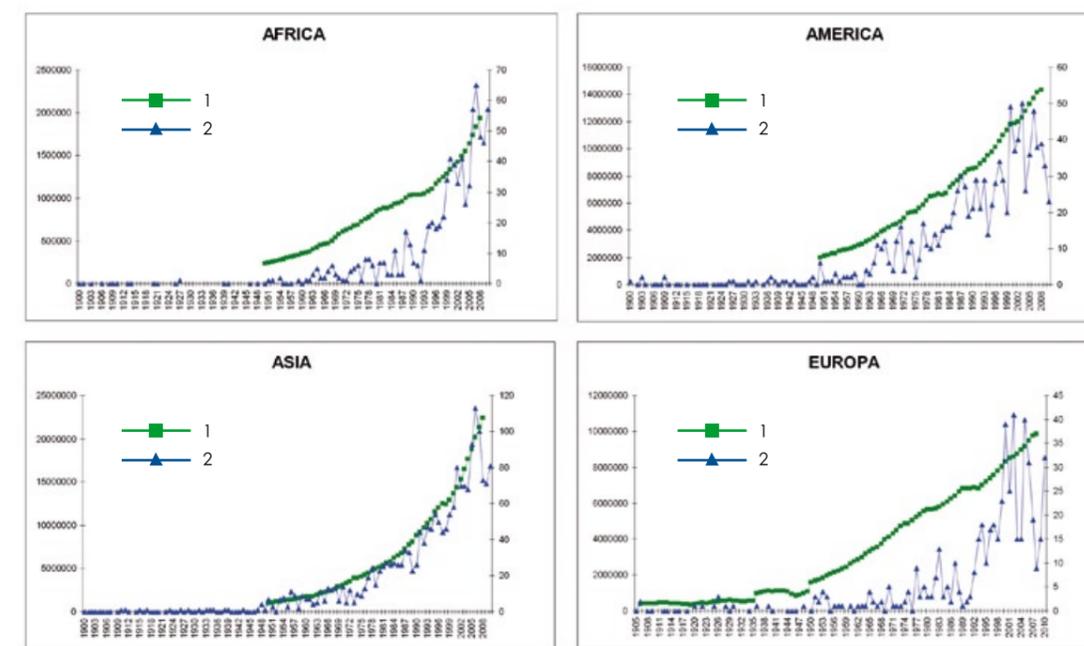
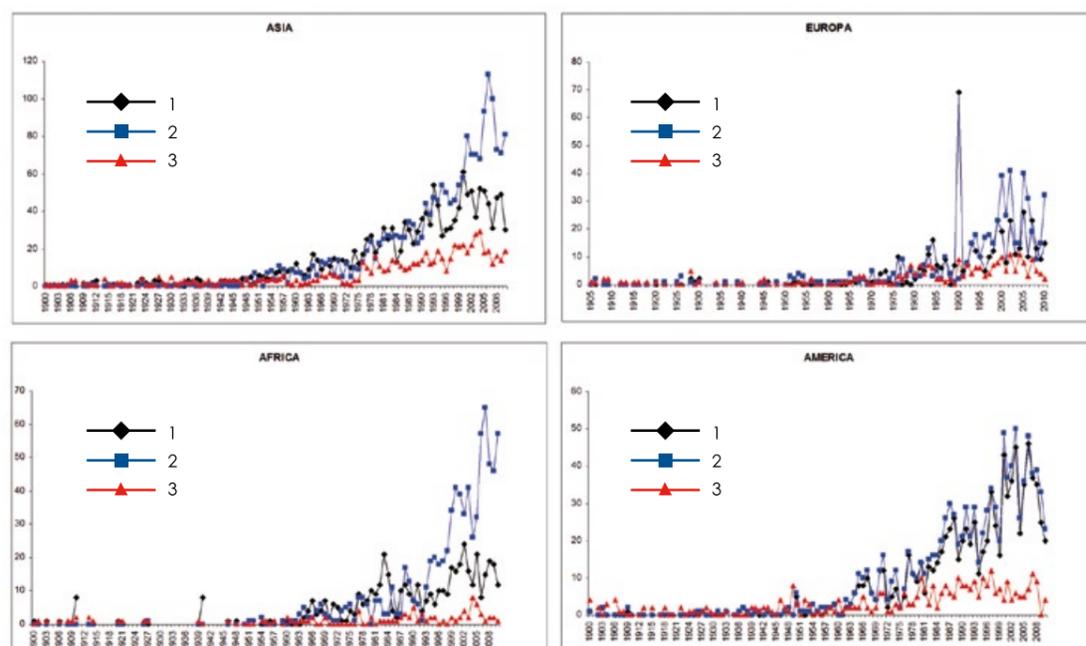
Datos obtenidos por Forte¹², a partir de distintas bases de datos de ámbito global, han arrojado los resultados que se resumen en las figuras y tablas anexas (páginas 91, 92 y 93). Según se puede apreciar, las tendencias de aumento de los desastres en los cuatro grandes continentes siguen la pauta esperada. El factor de aumento de los desastres también se

Correlación entre frecuencia de desastres naturales y PIB (1950-2008). En verde, máximo coeficiente de correlación; en rojo, mínimo coeficiente (derecha).

1) PIB en 10⁶ US\$; 2) Frecuencia de desastres naturales debidos a procesos geológicos superficiales (abajo).

Forte, 2011.

CONTINENTES	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
Desastres hidrogeomorfológicos	
África	0,8699
América	0,9177
Asia	0,9650
Europa	0,7246
Desastres climáticos	
África	0,8016
América	0,9106
Asia	0,8595
Europa	0,5679
Desastres geológicos internos	
África	0,5207
América	0,6959
Asia	0,8234
Europa	0,7461



El cambio global y el Antropoceno; más allá del clima

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,¹³ 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. Esto sugiere, en contra de lo indicado en algunos análisis,¹⁴ que difícilmente podemos achacar a las lluvias el creciente impacto de riesgos geológicos superficiales tales como inundaciones o deslizamientos.

Si lo antedicho se confirmara por medio de análisis adicionales, nos encontraríamos con que otra característica importante del Antropoceno sería un notable aumento de los riesgos debidos a procesos geológicos superficiales, y que ese aumento no sería, principalmente, consecuencia de los cambios que producimos en el clima, sino de los causados sobre la superficie terrestre. Esto, sin duda, sí tendría repercusiones importantes para el bienestar humano, e indicaría que las acciones encaminadas a mitigar esos riesgos seguramente se deberán abordar de manera distinta.

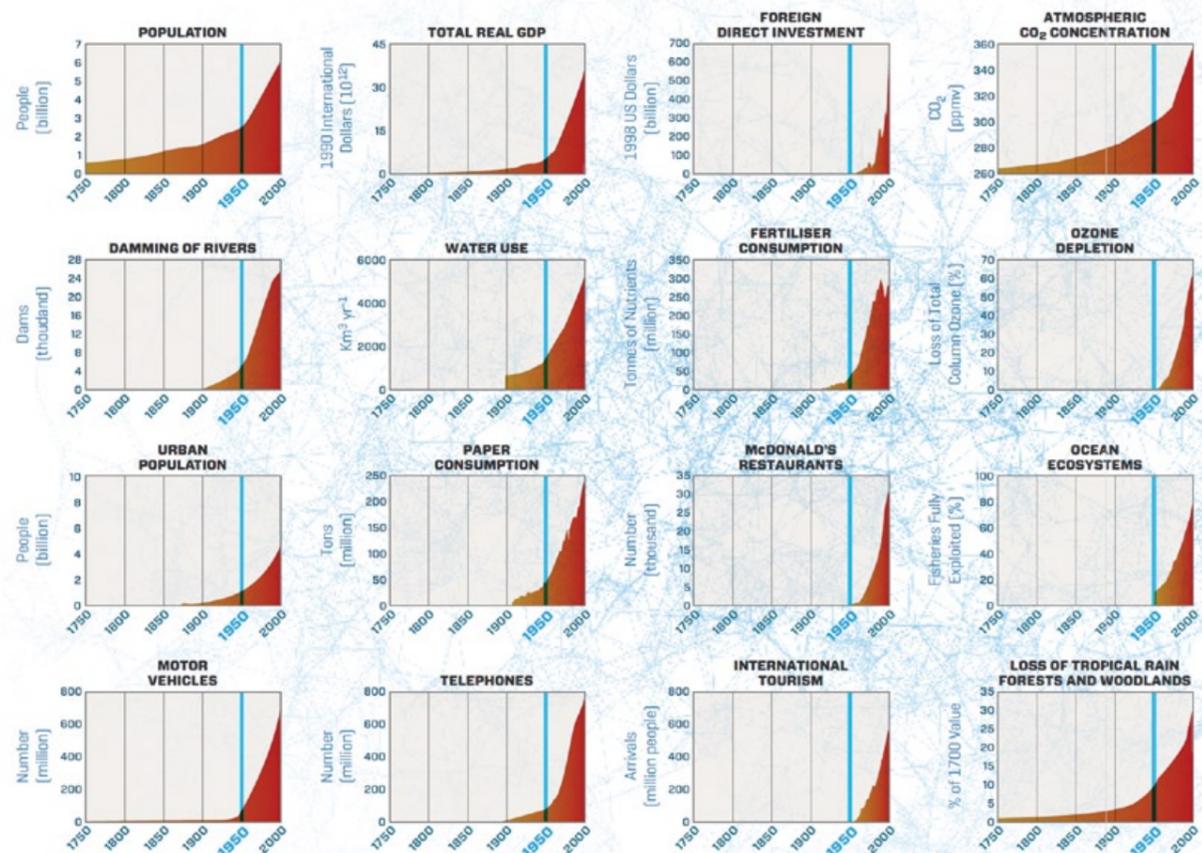
LA "GRAN ACCELERACIÓN" Y EL ANTROPOCENO

Los datos presentados más arriba dejan pocas dudas con respecto a la gran y creciente

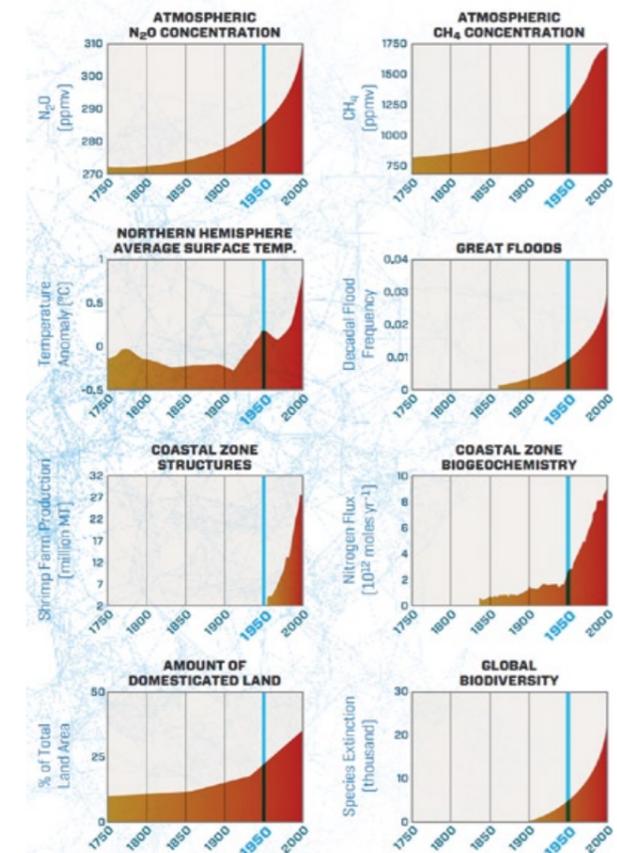
influencia de la especie humana sobre las distintas esferas terrestres y sobre los procesos que funcionan en las mismas. Esa modificación se ha dejado sentir, de manera particularmente importante, a partir de la expansión demográfica y económica que siguió a la Segunda Guerra Mundial. Es lo que se ha llamado la "Gran Aceleración",¹⁴ cuyas manifestaciones principales se muestran en la figura anexa. 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)

La "Gran Aceleración".

Steffen et al., 2011a.



INDICADORES DE INTENSIDAD DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS



INDICADORES DE LOS EFECTOS SOBRE EL MEDIO

REFERENCIAS

1. Bruschi V., Bonachea J., Remondo J., Forte L.M., Hurtado M. y Cendrero A. (2013) (en prensa). "¿Hemos entrado ya en un nuevo periodo de la Historia de la Tierra?" Rev. R. Acad. Cien. Exact. Fis. Nat. (Esp). Bruschi V. M., Bonachea J., Remondo J., Gómez-Arozamena J., Rivas V., Barbieri M., Capocchi S., Soldati M. y Cendrero A. (2013b) "Land management versus natural factors in land instability; some examples in northern Spain. Environmental Management" (enviado).
2. Marsh G. P. (1874) "The Earth as modified by human action (a new edition of Man and Nature, 1856)". New York: Scribner, Armstrong & Co.
3. Ter-Stepanian G. (1988) "Beginning of the Technogene". Bulletin of the International Association of Engineering Geology 38, 133-142.
4. Crutzen P. J. (2002) "Geology of mankind". Nature 415, 23-23.
5. Price S. J., Ford J. R., Cooper A. H. y 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 (1938), 1056-1084.
6. Cendrero A., Remondo J., Bonachea J., Rivas V. y Soto J. (2006) "Sensitivity of landscape evolution and geomorphic processes to direct and indirect human influence". GeogrFisGeodinQuatern 29, 125-137.
7. González-Díez A., Remondo J., Díaz de Terán J.R. y Cendrero A. (1999) A methodological approach for the analysis of the temporal occurrence and triggering factors of landslides. Geomorphology 30, 95-113.

El cambio global y el Antropoceno; más allá del clima

muestran un fuerte aumento hacia la mitad del pasado siglo, lo mismo que mostraban las tasas de sedimentación y los desastres debidos a procesos geológicos superficiales. Eso 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 ellos; en la presencia/ausencia o abundancia relativa de especies, etc.) que permitirán identificar la misma en el futuro.

Parece pues razonable considerar que el inicio del Antropoceno debería coincidir con el inicio de esa gran aceleración, más que con el comienzo de la Revolución Industrial. Como ya se ha indicado anteriormente, el final del siglo XVIII marca el momento en el que empezamos a adquirir, como especie, la capacidad de modificar de forma profunda el planeta. Sin em-

bargo, la modificación real y generalizada de la biosfera, atmósfera, hidrosfera y capa superficial de la litosfera no se produce hasta siglo y medio después.

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 fuertemente condicionadas por la influencia humana. En cuanto 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.

Lo anterior muestra que, en relación con el cambio global, no parece conveniente que limitemos nuestra atención al clima como ex-

plicación principal de todas las manifestaciones de ese cambio. En particular, si queremos abordar la mitigación de los riesgos geomorfológicos, parece aconsejable que miremos algo menos al cielo y mucho más al suelo.

Viola Bruschi (a), Jaime Bonachea (a), Juan Remondo (a), Luis M. Forte (b), Martín Hurtado (b) y Antonio Cendrero (a-b)

- a. Dpto. de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada Facultad de Ciencias Universidad de Cantabria
- b. Instituto de Geomorfología y Suelos Universidad Nacional de La Plata Argentina

“Si queremos abordar la mitigación de los riesgos geomorfológicos, parece aconsejable que miremos algo menos al cielo y mucho más al suelo.”



8. Rivas V., Cendrero A., Hurtado M., Cabral M., Giménez J., Forte L., del Río L., Cantú M. y 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.
9. Syvitski J. P. M., Kettner A. (2011) Sediment flux and the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369 (1938), 957-975.
Syvitski J. P. M., Vörösmarty C. J., Kettner A. J. y Green P. (2005) Impacts of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science* 308, 376-380.
10. 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. y 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.
11. Bruschi V. M., Bonachea J., Remondo J., Gómez-Arozamena J., Rivas V., Méndez G., Naredo J.M. y Cendrero A. (2012) Analysis of geomorphic systems' response to natural and human drivers in northern Spain: Implications for global geomorphic change. *Geomorphology* (en prensa).
12. 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.
13. IPCC (2007) *Climate change 2007: synthesis report*. Cambridge University Press, Cambridge.
14. Steffen W., Grinevald J., Crutzen P. y McNeill J. (2011) The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 369, 842-867.
Steffen W., Sanderson R. A., Tyson P. D., Jäger J., Matson P. A., Moore III B., Oldfield F., Richardson K., Schellnhuber H. J., Turner B. L. y Wasson R. J. (2004). *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.