

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Facultad de Ciencias

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y
FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA

TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES ESPACIO-
TEMPORALES DE LOS PROCESOS
GEOMORFOLÓGICOS Y LOS RIESGOS
NATURALES ASOCIADOS**

MEMORIA PRESENTADA POR

Luis María Forte

Directores:

Antonio Cendrero Uceda

Juan Remondo Tejerina

PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR POR LA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

SANTANDER, ABRIL 2017

D. Antonio Cendrero Uceda, Académico Numerario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y D. Juan Remondo Tejerina, Profesor Titular de la Universidad de Cantabria,

INFORMAN:

Que el trabajo presentado en esta memoria titulado “*Análisis de las variaciones espacio-temporales de los procesos geomorfológicos y los riesgos naturales asociados*”, se ha realizado en el Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria, bajo su dirección y que dan su conformidad para que dicha memoria sea presentada y tenga lugar, posteriormente, su lectura y defensa.

Santander, 15 de abril de 2017

Fdo.: Antonio Cendrero Uceda

Fdo.: Juan Remondo Tejerina

A Chichi y Florencia, que con tanto amor y paciencia me acompañaron en
este desafío.

A la memoria de mis padres.

INDICE

Agradecimientos

Organización de esta memoria

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. La dimensión geomorfológica del cambio global	5
1.2. La “huella antropogeomorfológica”	6
1.3. Cambio geomorfológico global directo e indirecto	7
1.4. Frecuencia de procesos hidrogeomorfológicos peligrosos	9
1.5. El cambio geomorfológico global y el Antropoceno	12
1.6. Planteamiento del problema e hipótesis de trabajo	14
2. METODOLOGÍA	21
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1. Determinaciones de la variación temporal de las tasas de sedimentación.	31
3.1.1. Cuenca del Río de la Plata	31
3.1.2. Lagunas de la Pampa húmeda.	44
3.2. Síntesis regionales a partir de la literatura	99
3.2.1. China	104
3.2.2. India	129
3.2.3. Estados Unidos	147
3.2.4. Europa	179
3.2.5. Norte de España	243
3.2.6. Australia	257
3.2.7. Resumen de la síntesis a partir de la literatura	309
3.3. Análisis de las variaciones espaciales	323
3.3.1. Introducción	323
3.3.2. Metodología y datos	324
3.3.3. Resultados de las correlaciones	327
3.3.4. Análisis regionales	329
3.3.5. Síntesis general	332
3.4. Evolución de los desastres naturales	353
3.4.1. Antecedentes y planteamiento del problema	353
3.4.2. Metodología	354
3.4.3. Resultados y discusión	358
3.4.4. Conclusiones	367
4. RECAPITULACIÓN Y CONCLUSIONES	397
5. REFERENCIAS	423
9. Anexos	DVD

Agradecimientos

A Chuchi González y Mario Hernández, por introducirme en el maravilloso mundo de las Ciencias de la Tierra.

A Martín Hurtado, por permitir mi integración en el Instituto de Geomorfología y Suelos de la Universidad Nacional de La Plata, y honrarme con su amistad durante los últimos veinte años.

A Antonio, Bronny, Diana, Adrián, Mar y Charlie, por brindarme tanta hospitalidad y cariño.

A mis directores, Antonio Cendrero Uceda y Juan Remondo Tejerina, por su guía invaluable y apoyo permanente.

A todos mis compañeros del Instituto de Geomorfología y Suelos. Especialmente a Daiana Rolny, Luis Couyoupetrou, Pablo Ontivero y Federico González Soto, por su generosa colaboración.

A todos los compañeros del Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada de la Universidad de Cantabria, en particular a Jaime, Victoria, Luis, Viola, Alberto, Rosa y Pepote, por hacerme sentir como en mi propia casa y permitirme compartir sus afectos.

Mi especial agradecimiento a Antonio Cendrero, Juan Remondo, Jaime Bonachea, Viola Bruschi y Victoria Rivas, por el apoyo que me han brindado durante todos estos años.

Organización de esta memoria

La memoria que sigue se ha estructurado de acuerdo con las líneas que se describen a continuación.

En la *Introducción* se repasan los antecedentes del tema, en gran medida apoyados en contribuciones previas del equipo de trabajo en las que ha participado el autor, se plantea el problema a abordar, y se formulan la hipótesis de trabajo y los objetivos. El segundo capítulo presenta una breve descripción de la *Metodología* general, la cual se describe con más detalle en contribuciones previas, de las que se presentan las referencias correspondientes. El tercer capítulo, que constituye el grueso de la memoria, presenta los *Resultados y Discusión*. Se exponen por separado los análisis realizados sobre: determinaciones de las variaciones temporales de las tasas de sedimentación; síntesis, basada en la literatura, de la evolución temporal de las tasas de sedimentación en distintas regiones del mundo; evolución temporal de los desastres naturales en distintas regiones del planeta. En cada uno de estos subcapítulos, se presentan detalles específicos de la metodología empleada (si procede), los datos obtenidos y las interpretaciones de los mismos, incluyendo las conclusiones parciales correspondientes. El cuarto y último capítulo contiene la *Recapitulación y Conclusiones* derivadas del conjunto de los resultados presentados. En el capítulo de *Referencias* se presenta la relación completa de las fuentes bibliográficas utilizadas, incluyendo la relación de bases de datos y páginas web.

Los *Anexos* (en formato CD) incluyen la información complementaria que sirve de apoyo al trabajo y que puede ser de utilidad para otros investigadores, pero que no se ha estimado oportuno incorporar en la memoria, bien por representar problemas de formato o bien para mantener la extensión total dentro de límites razonables. Esa información comprende, para cada una de las áreas cuyo análisis se presenta en el capítulo “3.2. Síntesis regionales a partir de la literatura”, lo siguiente: *Tablas a*; que contienen metadatos sobre todos los puntos para los que se ha obtenido información, incluyendo las referencias correspondientes; *Gráficas*; muestran, para los mismos puntos, los datos de edad obtenidos, los lapsos temporales que abarcan en cada caso y, cuando procede, las incertidumbres existentes con respecto a lo anterior; *Tablas b*; en ellas se recopilan los valores de las tasas obtenidas a partir de las gráficas, dentro de los tres lapsos temporales utilizados para el análisis. El conjunto de los tres tipos de documentos anteriores representan varios cientos de páginas, por lo que su inclusión en la memoria impresa no se ha considerado

adecuada. Además, para facilitar el acceso a la información y su eventual uso por otros investigadores, se incluyen también en los *Anexos* todas las tablas, gráficos o figuras que se contienen en el cuerpo principal de la memoria.

En todos los casos, con el fin de evitar los problemas de ajuste que implica la intercalación en el texto de tablas y figuras (y la consiguiente incomodidad para la lectura), en cada capítulo el primero se presenta de manera continua, y las segundas se incluyen al final. La numeración de figuras y tablas se presenta de forma independiente para cada capítulo o subcapítulo.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El creciente rol de la especie humana en la evolución de la superficie del planeta, se ha señalado desde largo tiempo atrás, y en mayor medida en tiempos recientes, por muy diversos autores que se han referido a las modificaciones que la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y la corteza terrestre están experimentando (Marsh, 1877; Thomas, 1956; Dunne & Leopold, 1978; WCED 1987; Goudie, 1993, 1995; Walling, 1996; Rawat et al., 2000; Slaymaker, 2000; UNEP, 2005, 2016, Naredo y Gutiérrez, 2005; Lu, 2005; Turner, 2006; IPCC, 2007, 2014; Bakker et al., 2008; Liverman y Roman-Cuesta, 2008; Zalasiewicz et al., 2008; Nature, 2011; Steffen et al., 2011, 2015; Waters et al., 2016). Los efectos de la “denudación tecnológica” en los términos de Brown (1956), y sus implicancias en los procesos geomorfológicos y en especial la erosión-sedimentación, han sido estudiados entre muchos otros por Wolman y Schick 1967; Costa 1975; Judson, 1983; Douglas 1990; Turner et al., 1990; Hooke 1994; Trimble, 1997; Hooke, 1994, 1999; Slaymaker 2000; Phippen y Wohl, 2003; Gellis et al., 2004; Ruiz-Fernández et al., 2005; Douglas y Lawson, 2005; Syvitski et al., 2005; Cendrero et al., 2005; Rivas et al., 2006; Bakker et al., 2008; Slaymaker et al., 2009; Steffen et al., 2016). Sin embargo, quedan aún importantes vacíos para la comprensión de la naturaleza e intensidad de los efectos, directos e indirectos, cualitativos y cuantitativos, de la acción humana sobre los procesos geomorfológicos y sus potenciales consecuencias sobre los riesgos naturales.

La influencia humana afecta de manera indirecta y extensa a la capa superficial del terreno y tiene como resultado un aumento de su sensibilidad ante los agentes naturales. Esta sensibilidad del medio o “landscape sensitivity” en los términos de Brunsden (2001), es reflejo de la capacidad del territorio para experimentar un cambio reconocible en respuesta a cambios en las variables de control externas. Según Brierly y Stankoviansky (2003), existe incertidumbre acerca de si el factor desencadenante de la aceleración de los procesos de erosión-sedimentación, es el cambio climático o los cambios de uso del suelo. Sin embargo, se sabe que los cambios de uso del suelo afectan a la respuesta del terreno ante los cambios climáticos. Estas modificaciones pueden aumentar la sensibilidad del medio y amplificar los efectos de cambios climáticos relativamente pequeños. El resultado neto es una reducción de la resiliencia de la capa superficial del terreno (aumento de la

sensibilidad), potenciando los efectos de la activación física principal de los procesos, como las precipitaciones intensas.

Como las pautas temporales de los procesos geomorfológicos naturales y aquellos derivados directa o indirectamente de la acción humana se superponen, resulta necesario discriminar y, a ser posible, cuantificar la contribución humana a la modificación de las tasas o intensidad de dichos procesos. En los últimos años, numerosos autores, utilizando aproximaciones y técnicas muy distintas en diferentes ambientes, han puesto de manifiesto la existencia de importantes variaciones en las tasas de erosión-sedimentación a diferentes escalas temporales. Tales autores (Judson, 1983; Hooke, 1999; Owens y Walling, 2002; Gellis et al., 2004; Ruiz Fernández et al., 2005; Ramos-Scharrón y MacDonald, 2007; Slaymaker, 2009; Bonachea et al., 2010; Forte et al., 2016, entre muchos otros) concluyeron que, aunque el efecto climático no siempre se pueda excluir o incluso cuando sea considerado el principal factor desencadenante, el ritmo de aceleración de los procesos superficiales, sugiere que la intervención humana es el factor primordial que conduce a la modificación de la sensibilidad del territorio. Por su parte, Syvitski et al. (2005), señalan que las actividades humanas han incrementado el transporte de sedimentos por parte de los ríos, a nivel global, en $2.3 \pm 0.6 \text{ Gt a}^{-1}$ y, al mismo tiempo, han reducido el flujo de sedimentos a los océanos en 1.4 Gt a^{-1} , por retención en las represas.

La mayoría de los estudios realizados, sobre la influencia humana en los procesos geomorfológicos se refieren a los efectos de las actividades agrarias y forestales en los procesos de erosión-sedimentación, pero sigue existiendo un conocimiento insuficiente de las consecuencias geomorfológicas de actividades tales como la urbanización, el desarrollo de obras de infraestructura física y las actividades extractivas que, a pesar de afectar a una superficie comparativamente pequeña, contribuyen de manera importante a la generación de sedimento (Wolman y Shick, 1967; Lüttig, 1992; Trimble, 1997; Phippen y Wohl, 2003; Douglas y Lawson, 2005; Ruiz Fernández et al., 2005, Rivas et al., 2006; Bruschi et al., 2012, Forte et al., 2016). Además, la mayor parte de los estudios dirigidos a determinar la influencia de las actividades humanas en la modificación de los procesos superficiales, se han limitado al análisis de pequeñas cuencas hidrográficas.

Tampoco han sido muchos (hasta donde conoce el autor), los análisis encaminados a determinar si existe algún tipo de modelo generalizable, que relacione la extensión e intensidad de la intervención humana sobre el

territorio, con la frecuencia y las consecuencias de ciertos riesgos ligados a la dinámica externa del planeta, tales como los deslizamientos y las inundaciones (Cendrero et al., 2006; Bonachea et al, 2012; Bruschi et al, 2012, 2013 a, b).

Es por ello conveniente tratar de averiguar si existe un acoplamiento entre impulsores humanos y procesos naturales, a través de relaciones cuantitativas entre indicadores socio-económicos y geomorfológicos. Caso de que ese acoplamiento exista, sería importante tenerlo en cuenta para desarrollar y mejorar modelos predictivos de peligrosidad debida a procesos naturales, lo que ayudaría a mejorar la gestión de estos riesgos.

1.1. La dimensión geomorfológica del cambio global.

La existencia de una “dimensión geomorfológica del cambio global”, fue postulada por Cendrero y Douglas (1996), para referirse a los efectos directos e indirectos de las actividades humanas sobre los procesos geológicos superficiales. Esta “dimensión geomorfológica del cambio global”, no relacionada con el cambio climático, aunque éste contribuya a acentuar sus efectos, podría estar modificando los procesos debidos a las interacciones entre el agua y la superficie terrestre. Procesos tales como las inundaciones o la inestabilidad de laderas están determinados por un agente causal (habitualmente el agua por medio de lluvias intensas, pero en ocasiones acciones humanas directas) y una serie de factores condicionantes, dependientes de la naturaleza y propiedades de la superficie del terreno, incluyendo la cobertura vegetal o los usos del suelo. Los parámetros que condicionan el escurrimiento superficial, la estabilidad y cohesión de la capa superficial del terreno, etc., pueden estar experimentando modificaciones significativas en casi todas las regiones del mundo, como consecuencia de la creciente intervención humana sobre el territorio. Habitualmente se achaca al cambio climático el aumento de la frecuencia o magnitud de esos procesos, pero eso equivale a considerar solamente una de las variables intervinientes en el proceso: el agente causal o variable desencadenante. El mismo resultado se produciría si el agente causal no variase, pero se modificasen las variables condicionantes, lo que podría producir un efecto preparatorio y difuso para el desencadenamiento de ciertos fenómenos naturales de consecuencias catastróficas, al reducir la resiliencia de la capa superficial del terreno, aumentar el escurrimiento y, por tanto, disminuir el umbral de respuesta ante un agente causal. Como han señalado Brierley y Stankoviansky (2003) «whether landuse change or climate change is the main trigger of

accelerated erosion-accumulation processes in long term landscape evolution remains uncertain... however...it is clear that...land-use changes decrease the boundary resistance of landscape to change». Muchos otros autores (Collins et al., 1997; Owens et al., 1999; Eriksson and Sandgreen, 1999; Knox, 2001; Cisternas et al., 2001; Macaire et al., 2002; Owens and Walling, 2002; Lang, 2003; Lespez, 2003; Schmitt et al., 2003; Glade, 2003; Ritchie et al., 2004; Siakeu et al., 2004; Gámez et al., 2005; Keesstra et al., 2005; Pérez-Arlucea et al., 2005; Kasai et al., 2005; Gell et al., 2009; Sloss et al., 2011; Bai et al., 2013; Tang et al., 2014; Baskaran et al., 2014; Jayaprakash et al., 2015; Zhang et al., 2015; Selvaraj et al., 2015; Humane et al., 2016) han puesto de manifiesto la existencia de cambios importantes en las tasas de erosión/sedimentación, a distintas escalas temporales. Todos ellos señalan la importancia que tiene en ello los cambios de uso del suelo. El papel de la contribución de los deslizamientos, con frecuencia consecuencia de intervenciones humanas, a la generación de sedimento se ha analizado por parte de Peart et al. (2005); Korup et al. (2007) o Acharya et al. (2009), entre otros.

1.2. La “huella antropogeomorfológica”.

Una de las grandes contribuciones humanas a la transformación de la superficie terrestre, se refleja en las superficies y volúmenes implicados en la extracción, transporte y re-depositación de materiales geológicos, urbanizaciones, desarrollo de infraestructuras, etc., que producen efectos directos y deliberados sobre el territorio. Análisis llevados a cabo en cuatro zonas de estudio de España y Argentina (Cendrero et al., 2005; Rivas et al., 2006; Hurtado, 2015), han permitido establecer que la “huella geomorfológica humana (HGF)”, concepto relacionado con, pero diferente al de “huella ecológica” propuesto por Wackernagel y Rees (1996), y que se expresa en $\text{m}^2/\text{persona/año}$ ocupados por geoformas antrópicas y $\text{m}^3/\text{persona/año}$ movilizados por esas actividades, aumenta en el tiempo. Este aumento refleja el crecimiento del PBI, que puede tomarse como un indicador de la intensidad de la influencia humana sobre el medio físico.

En conjunto, la movilización directa e indirecta de materiales geológicos a expensas de las actividades humanas, podría ser en la actualidad y a nivel global, superior en uno o más órdenes de magnitud a la tasa de denudación debida a los procesos superficiales naturales, o al aporte de sedimentos a los océanos por parte de los ríos del mundo (Rivas et al., 2006; Cendrero et al., 2006; Hurtado et al., 2015). De acuerdo con los datos de dichos autores, la denudación directa producida en la

superficie terrestre por la actividad humana es equivalente, para el conjunto de las tierras emergidas, a casi 1 mm, mientras que la debida a procesos naturales sería del orden de 0,1–0,01 mm/año. Por otro lado, el volumen de materiales geológicos anualmente movilizadopor las personas, a través de excavaciones o denudación inducida, es del orden de 10^{17} t/año, comparado con las 10^{15} – 10^{16} t/año que anualmente transportan todos los ríos del mundo a los océanos. 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. Sin embargo, no se conoce aún en términos cuantitativos, si estas alteraciones de la superficie de la tierra tienen un reflejo importante en la intensificación directa e indirecta de los procesos de erosión/sedimentación y de los riesgos de tipo “hidrogeomorfológico” asociados.

1.3. Cambio geomorfológico global directo e indirecto.

La huella geomorfológica es la manifestación más directa del “cambio geomorfológico global” (Cendrero et al., 2011; Bruschi et al., 2012) pero hay otras, directas e indirectas, que afectan de manera importante a los procesos geomorfológicos, tales como la construcción de represas o la deforestación y los cambios de uso del suelo en general. Las represas producen una significativa alteración de la dinámica fluvio-sedimentaria, que se expresa, en diferentes zonas del mundo, en modificaciones de la morfología fluvial, cambios valle arriba como consecuencia de las variaciones introducidas en el nivel de base, en el retroceso de los deltas y la activación de procesos de erosión costera (Poulos y Collins, 2002; Syvitski y Saito, 2007; Zhang et al., 2008; Gamage y Smakhtin, 2009; Rao et al., 2010, Syvitski et al., 2009, 2011, Gupta et al., 2012, Dandekar, 2014, Ali & El-Magd, 2016, Jain et al., 2016). La alteración del equilibrio fluvio-sedimentario potencia los efectos de ciertos procesos naturales, contribuyendo significativamente al desencadenamiento de desastres por riesgos naturales en los ambientes litorales. Datos relativos a esta importante contribución humana a la alteración de los procesos de erosión-sedimentación, se han descrito en distintas zonas del mundo, entre muchos

otros por (Vörösmarty et al., 2003; Walling y Fang, 2003; Renwick et al., 2005 a, b; Syvitski et al., 2005, 2009, 2011; Walling, 2006; Wang et al., 2007; Xu y Milliman, 2009; Rao et al., 2010, Gupta et al., 2012, Li et al., 2016) quienes informaron que, debido a la construcción de represas, la carga sedimentaria se redujo en factores situados entre 2 y 200, ubicándose el factor más frecuente entre 10 y 20. El efecto directo de estas alteraciones del equilibrio fluvio-sedimentario, se expresó en una significativa modificación de la morfología litoral, el retroceso de los deltas y la activación de importantes procesos de erosión costera (Wang et al, 2007; Zhang et al, 2008; Zhang y Lu, 2009; Peng et al, 2010; Yang et al, 2011). En algunos casos, la contribución relativa de los impulsores humanos explicó entre el 60% y hasta el 80% de los cambios observados (Zhang y Lu, 2009; Peng et al, 2010; Miao et al, 2011). Según datos aportados para la cuenca del Plata por Bonetto et al. (2006), Stevaux et al. (2009), Amsler y Drago (2009), la reducción de la carga sedimentaria, como consecuencia del efecto de las represas construidas en territorio de Brasil a partir de la década de 1960, fue superior al 60%. Otros efectos de las represas sobre la dinámica de los procesos naturales, incluyen la alteración del régimen hidrológico de los ríos y especialmente de su régimen de caudales (Magilligan y Nislow, 2005; LeRoy Poff et al, 2006; Graf, 2006). En contraposición, las represas contribuyen a reducir los riesgos de inundación, a través de la laminación de avenidas.

La deforestación, expansión de fronteras agropecuarias, ampliación de áreas ocupadas por cultivos en hilera, etc., reducen de manera significativa la resistencia y cohesión de la capa superficial del terreno, potenciando los efectos de los agentes naturales, en particular de las precipitaciones de alta intensidad. Sus efectos aumentan las tasas de erosión-sedimentación y modifican un conjunto de variables hidrológicas.

El impacto de los cambios de uso del suelo y otras alteraciones en los patrones de drenaje sobre el escurrimiento superficial y la respuesta hidrológica de los ríos, ha sido estudiado en distintas regiones del mundo y para diferentes escalas temporales. Algunas de las contribuciones recientes, se deben a (Tu et al, 2005; Brath et al, 2006; Wheeler y Evans, 2009; Petrow y Merz, 2009; Herget y Meurs, 2010), quienes informaron sobre una importante contribución de los cambios de uso del suelo y otras alteraciones antrópicas, al aumento de la escorrentía superficial, la reducción de los tiempos de distribución del escurrimiento y la magnitud y/o frecuencia de los picos de máxima crecida, señalando a la acción humana como el primer o segundo factor en orden de importancia, asociado al cambio en el régimen de precipitaciones. Estas alteraciones,

que se expresan en inundaciones recurrentes con conocidos efectos sobre la geomorfología fluvial, tales como modificaciones de la morfología del cauce, geometría hidráulica y aumento de las tasas de erosión-sedimentación, fue descrita, entre muchos otros, por Schumm y Lichty (1963) y Fuller (2008).

En la cuenca del Plata, desde mediados del siglo XX han tenido lugar importantes cambios en la cobertura y usos del suelo, que podrían explicar en parte el cambio observado en las frecuencias de máximas crecidas (Tucci y Clarke, 1998). Coherentemente, Beverly et al (2006), informaron que el incremento observado en la respuesta hidrológica de los ríos, fue superior en un factor 2 al aumento de las precipitaciones para igual período. En el caso del río Uruguay, Saurral et al. (2008), concluyeron que la frecuencia de máximos caudales podría deberse al aumento de las precipitaciones, pero la reducción de los tiempos de distribución pareció explicarse por los cambios en el uso del suelo.

En el caso particular de la cuenca del río Bermejo, que contribuye con el mayor porcentaje de la carga de lavado al río Paraná, sus porciones medias y bajas fueron afectadas por el crecimiento económico relacionado con las actividades agrarias, aumentando la presión antrópica por deforestación de “significativa” a “severa” y por inadecuado manejo del suelo agrario a “muy severa” (Grau y Brown, 2000; Izquierdo y Grau, 2009). Para la cuenca en su conjunto, la deforestación alcanzaría al 26% y el mal manejo del suelo al 60% (Grau y Brown, 2000; Viglizzo y Frank, 2006; Boletta et al, 2006; Gaviño-Novillo, 2007; Izquierdo y Grau, 2009). Teniendo en cuenta que los procesos geomorfológicos dominantes en la cuenca son la erosión y sedimentación como consecuencia de procesos de remoción en masa, la deforestación y el mal manejo del suelo estarían incrementando significativamente la frecuencia y magnitud de dichos procesos naturales, acentuando sus potenciales efectos catastróficos.

1.4. Frecuencia de procesos hidrogeomorfológicos peligrosos.

Distintos análisis realizados en las últimas dos décadas en varias zonas del N de España muestran que los riesgos debidos a procesos geológicos superficiales se han intensificado de manera notable durante la segunda mitad del siglo XX. Así, un aumento de la frecuencia de deslizamientos se ha puesto de manifiesto por parte de González-Díez et al. (1996, 1999), Remondo (2001); Remondo et al., (2005 a, 2008), Cendrero et al., (2005, 2007), Bonachea et al. (2009), Bruschi et al.

(2012). En el valle de Ebro se ha descrito un aumento de la frecuencia de los colapsos por procesos kársticos en terrenos evaporíticos (Gutiérrez et al., 2007; Galve et al., 2009). Los resultados obtenidos por esos autores muestran que las magnitudes y tendencias de los aumentos observados no se explican satisfactoriamente por cambios en los desencadenantes naturales (lluvias, sismicidad). La influencia humana, a través de distintas actividades, parece la explicación más probable en todos los casos.

En el caso concreto de los deslizamientos, el aumento observado en las tasas no pudo explicarse por las variaciones climáticas registradas, pero mostró una correlación estadísticamente significativa con el aumento del PBI en la región estudiada (Remondo et al, 2005b). Determinaciones de las tasas de sedimentación realizadas en las desembocaduras de varios valles cantábricos (Ródenas et al, 2004; Gelen et al., 2004, Bruschi et al., 2008, 2013 a, b), mostraron aumentos de aproximadamente un orden de magnitud a lo largo del siglo XX, lo que es coherente con la evolución de las tasas de deslizamientos, ya que estos son el principal mecanismo erosivo en la región.

Evidencias adicionales de las relaciones entre el aumento de población-PBI y frecuencia de desastres naturales a lo largo de las últimas décadas, ya sea a escala global o en ámbitos locales y regionales, las proporcionan las cifras presentadas por Guzzetti y Tonelli (2004), y EM-DAT (2016) y Munich Re (2017), que sugieren, por un lado, una elevada contribución relativa de las actuaciones humanas al aumento de la frecuencia/magnitud de los eventos catastróficos y, por otro lado, un incremento de la exposición y vulnerabilidad de personas y bienes. Esto pondría de manifiesto, que mientras se produce una mejora en la gestión de los sistemas productivos, la gestión de los procesos y riesgos naturales ha empeorado significativamente. Coherentemente, Latrubesse y Brea (2009) y Latrubesse et al (2009), analizando las inundaciones que afectaron a distintas regiones de Argentina y áreas urbanas de Brasil en los últimos 30 años, atribuyeron el desencadenamiento de los eventos catastróficos, a los efectos combinados de las actuaciones humanas y las precipitaciones intensas.

En lo que se refiere al papel de las actividades humanas en los procesos de estabilidad de laderas y riesgos relacionados, distintos trabajos han puesto de manifiesto las relaciones entre deslizamientos superficiales y cambios de uso (Haigh et al., 1995; Chang and Slaymaker 2002; Glade 2003; Vanacker et al., 2003; Meusburger and Alewell 2008; Wasowski et al., 2010; García Ruiz et al., 2010; Santini & Valentini, 2011; Bruschi et

al., 2013; Reichenbach et al., 2014; Lonigro et al., 2015; Samia et al., 2016). Por otro lado, se ha descrito una reducción en la frecuencia de deslizamientos como consecuencia del abandono de tierras agrícolas en el Pirineo (Beguería, 2006). De manera más específica, algunos autores han analizado en distintos lugares la importancia relativa de las lluvias y de los cambios de uso del suelo en la generación de deslizamientos (Wasowski 1998; Glade 1998; van Beek y van Asch 2004; Crozier 2005; Piccarreta et al., 2006; Wasowski et al., 2007; 2010, Santini & Valentini, 2011, Reichenbach et al., 2014, Lonigro et al., 2015, Samia et al., 2016). Todos ellos encontraron que los cambios en las precipitaciones totales o en la frecuencia de las lluvias intensas no explican satisfactoriamente las tendencias observadas hacia una creciente frecuencia de deslizamientos, concluyendo que los cambios de uso son seguramente un factor determinante.

Sin embargo, esto no debe interpretarse en el sentido de que las lluvias intensas no son un factor desencadenante importante de los procesos geomorfológicos peligrosos, tal como han mostrado distintos autores. (Corominas y Moya 1999; Dai y Lee 2002; Crosta y Frattini 2003; Szabó 2003; Wang y Sassa 2003; Zézere et al., 2005). Incluso, Clarke y Rendell (2006) Chang, S.H. & Chiang (2011), Gariano et al. (2015), Gariano y Guzzetti (2016) encontraron una tendencia a la reducción en la frecuencia de deslizamientos e inundaciones en el periodo 1950–1990, aproximadamente en paralelo a la reducción de precipitaciones. Además, el conocimiento empírico común muestra claramente que los deslizamientos e inundaciones se producen, lógicamente, como consecuencia de episodios de lluvias intensas. Lo que los resultados descritos en los trabajos anteriores muestran es que la frecuencia de esos procesos geomorfológicos peligrosos ha aumentado con el tiempo en el último siglo o las últimas décadas, mientras que las lluvias totales o la frecuencia de las tormentas han variado muy poco, y en sentidos diferentes en distintas zonas del mundo (Forte, 2011; Bruschi et al., 2012, 213 a, b). Lo que parece estar ocurriendo, como ya se ha indicado, es que la resiliencia de la capa superficial del terreno está disminuyendo como consecuencia de las actividades humanas (o, lo que es lo mismo, que su sensibilidad está aumentando; Brierly y Stankoviansky 2003; Cendrero et al., 2006). El resultado sería una disminución de los umbrales de respuesta a la acción del principal agente desencadenante (la lluvia intensa), con lo que a medida que pasa el tiempo, las lluvias necesarias para desencadenar los procesos citados serían cada vez menores.

1.5. El cambio geomorfológico global y el Antropoceno.

Desde hace tiempo y a la luz de los distintos cambios que la tierra está experimentando como consecuencia de las actividades humanas, diversos autores han propuesto la conveniencia de definir una nueva época geológica, caracterizada precisamente por la influencia de nuestra especie en el conjunto de elementos y procesos del planeta. 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. En la tabla I.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. En 2002, P.J. Crutzen planteó la posible definición de una nueva época geológica dominada 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.

La definición de las divisiones cronológicas en la historia de la Tierra se ha hecho normalmente a partir de la identificación de cambios significativos en algunas características del planeta identificables en el registro geológico, tales como condiciones climáticas, fauna y flora existentes, funcionamiento de los procesos geológicos, distribución de tierras y mares, etc. Tiene por tanto sentido analizar en qué 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, la fecha a partir de la cual se podría decir que hemos entrado en una nueva época geológica, en la que 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 I.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. Y, relacionado con lo anterior ¿existe un cambio en el funcionamiento de los procesos geológicos superficiales que es de ámbito planetario y que caracterizaría al Antropoceno? Caso de que sea así ¿podría aportar algún criterio que ayude a definir el inicio de esa posible nueva época geológica?

Los cambios que afectan a los procesos superficiales pueden dejar huellas identificables en el registro sedimentario ¿son esos cambios cuantitativamente significativos? Si el Antropoceno se considerase una nueva época de la historia geológica ¿deberíamos establecer su inicio sobre la base de un criterio cualitativo (presencia de huellas de influencia humana) o bien de un criterio cuantitativo (a partir del momento en el que la influencia humana es superior a la de los agentes naturales)? Si bien hay evidencias de efectos significativos de los seres humanos sobre ciertos procesos geomorfológicos ya en el Neolítico (González-Díez et al., 1999), la aceleración generalizada de los mismos es bastante reciente, el “cambio geomorfológico global” de Remondo et al. (2005 b). Para Syvitski y Kettner (2011), 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.

En tiempos recientes, el debate sobre la pertinencia de definir el Antropoceno como una nueva época en la escala cronoestratigráfica se ha intensificado (Zalasiewicz et al., 2008; Price et al., 2011; Nature, 2011, Cendrero et al., 2011, 2012; Steffen et al., 2011, 2015; Waters et al., 2016, Finney y Edwards, 2016; Steffen et al., 2016; Zalasiewicz et al., 2017), y se han planteado distintos argumentos a favor y en contra del reconocimiento “oficial” de dicha época. Independientemente de las razones formales para aceptar o no ese reconocimiento, parece claro que

resulta conveniente determinar si existen datos que pongan de manifiesto la existencia o no de cambios en el funcionamiento de los procesos geológicos en tiempos recientes. Tanto se les llame formalmente Antropoceno como si se siguen considerando parte del Holoceno, esos cambios, de existir, podrían ser un rasgo distintivo a tener muy en cuenta, por sus consecuencias potenciales para los seres humanos.

1.6. Planteamiento del problema e hipótesis de trabajo.

Es muy frecuente (prácticamente generalizado), tanto en los medios en general como en los ámbitos científicos, acudir al cambio climático como explicación de la creciente frecuencia de inundaciones, deslizamientos de tierras o aterramiento por sedimentos. Consideramos que este es un planteamiento demasiado simplista y poco riguroso desde el punto de vista científico, pues se limita a considerar solamente una de las variables que intervienen en el proceso. Por supuesto, si hay un aumento en las precipitaciones es de esperar que aumente la escorrentía, la erosión y las inundaciones o deslizamientos. Pero los mismos efectos serían esperables si las lluvias permanecen constantes y cambia la sensibilidad de la superficie del terreno ante la acción de la lluvia.

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) (Fig. I.2; Cendrero et al., 2006). Por su parte, Kolbert (2011), propone un modelo similar para expresar el “impacto humano” (Fig. I.3). La magnitud del impacto (representada por el volumen del paralelepípedo) 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.

Desde hace más de 15 años se han venido desarrollando trabajos de investigación dentro de diferentes proyectos, encaminados entre otras cosas a comprobar la validez del modelo anterior, en los cuales ha participado como investigador el autor de esta memoria. Esos trabajos han proporcionado las bases y permitido obtener información para la realización de esta tesis doctoral. Dichos proyectos han sido: ELANEM, INCO Programme 1998-01 (Comisión Europea); CAMGEO, CGL2006-11431 (España); PIT-AP/UNLP 2010 (Argentina); PICT 2013-1685, ANPCyT (Argentina); UC29.P001.64004 (España).

Para 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, Forte et al., 2016) y en una serie de estuarios del N de España (Bruschi et al., 2012, 2013 a, b). 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 general, en 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.

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, Bruschi et al., 2013), que se podría expresar como densidad de PIB ($\text{€}/\text{km}^2$) 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 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.

De lo anterior se deduce tanto el planteamiento del problema como la hipótesis de trabajo. Se intenta contribuir a dilucidar si realmente existe, a escala global, un cambio geomorfológico que implica una aceleración de los procesos de tipo hidrogeomorfológico, que se manifestaría en un creciente aumento de las tasas de erosión y de sedimentación, así como de la frecuencia o magnitud de los desastres relacionados con la interacción entre el agua y la superficie terrestre. Caso de que esa aceleración exista, si la misma puede explicarse sobre todo como debida a la modificación de la superficie terrestre por parte de los seres humanos, o bien como una consecuencia más del cambio climático. Esto contribuiría también a aclarar si la “Gran Aceleración” posterior a la Segunda Guerra Mundial, señalada por Steffen et al. (2007, 2011, 2015, 2016), se manifiesta en los procesos y riesgos geomorfológicos. De ser así, parecería razonable proponer que sea esa fecha la que se considere como inicio del Antropoceno (Cendrero et al., 2011, 2012, Forte et al., 2016), más bien que el inicio de la revolución industrial, como propone Crutzen (2002).

Objetivos.

El objetivo general es contribuir a dilucidar si realmente existe un creciente aumento de las tasas de erosión y de sedimentación, así como de la frecuencia de los desastres relacionados, debido a un cambio geomorfológico global provocado por las actividades humanas, que represente una “gran aceleración geomorfológica”.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar si los datos sobre tasas de generación de sedimento o, consecuencia de lo anterior, de sedimentación muestran un incremento generalizado en distintas cuencas, países o regiones del mundo.
- Determinar si existe en el mundo un incremento generalizado de la frecuencia de desastres debidos a procesos geológicos superficiales.
- Evaluar si existen o no relaciones entre las tendencias de variación temporal de los procesos geomorfológicos y los principales impulsores naturales y humanos, entendiendo por tales las precipitaciones en el caso de los primeros y el PBI entre otros indicadores sintéticos de la intensidad de la presión sobre el territorio para los segundos.

- Evaluar si existe algún tipo de relación entre la distribución espacial de las tasas de sedimentación o la frecuencia de los desastres geomorfológicos e indicadores de la intensidad de la actividad humana en distintas zonas del mundo (presión geomorfológica humana).
- Dilucidar si se confirman las evidencias de una aceleración de los procesos geomorfológicos en tiempos recientes, de ámbito global, que constituya una de las características definitorias del Antropoceno.

En todos los casos, se tratará de cubrir un periodo de aproximadamente un siglo, si bien para determinadas variables y zonas del mundo no se pueden cubrir más de 50 años, y en algunos casos menos.

Tabla I.1. Influencia o réplica humana en procesos naturales que afectan a la Tierra (en Bruschi et al., 2012; modificado a partir de Ter-Stepanian, 1988).

NATURAL

Biosfera

Evolución biológica, nuevas especies
Selección natural de los más aptos
Extinción de especies

Atmósfera/hidrosfera

Evolución geoquímica de atm/hidr.
Ciclos y cambios climáticos

Procesos internos

Transferencia de energía interna
Generación de energía interna
Concentración geoquímica de metales
Terremotos
Metamorfismo de contacto
Formación de minerales en el manto

Procesos solares

Síntesis de helio

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

Posibles marcadores en registro geológico

HUMANO

Ingeniería genética, nuevos organismos
Selección artificial de los más útiles
Extinción de especies (deliberada, indirecta)

*Contaminación, composición agua y aire ***
*Cambio climático antropogénico***

Uso de energía geotérmica
*Producción de energía nuclear ***
Explotación de minerales y metalurgia
Terremotos (embalses, explosiones)
Producción de materiales cerámicos
Producción de diamantes, etc. artificiales

Fusión nuclear**

Trituración de rocas
Tratamientos quím. rocas, contaminación
Aumento nivel del mar
*Canalización, rectificación, embalses ***
*Ingeniería costera***
Extracción de fluidos, colapsos mineros
*Acción humana directa e indirecta***
Minería y construcción??
*Denud./trans./dep. antropogénicos***

** Significativo tras la Revolución Industrial

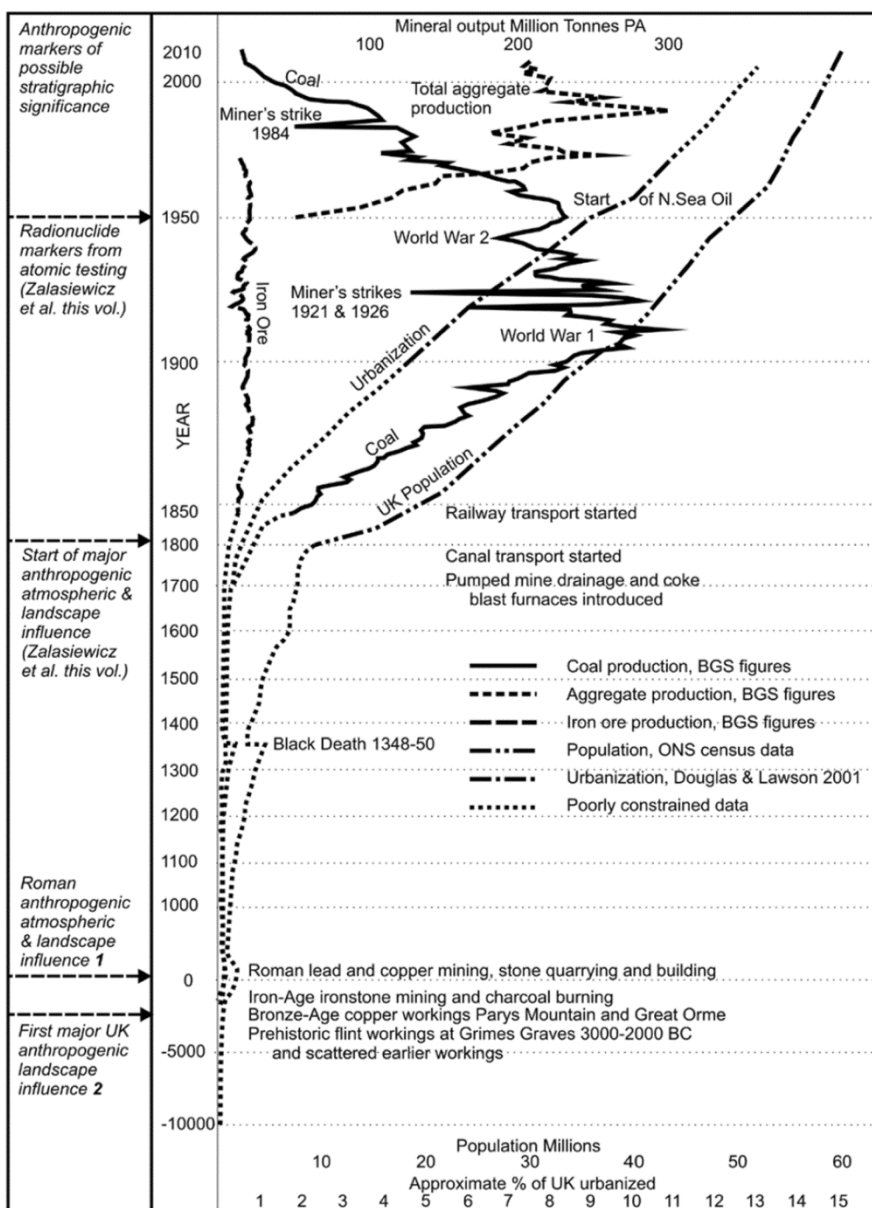


Figura I.1. Posibles indicadores estratigráficos del Antropoceno (a partir de Price, 2011).

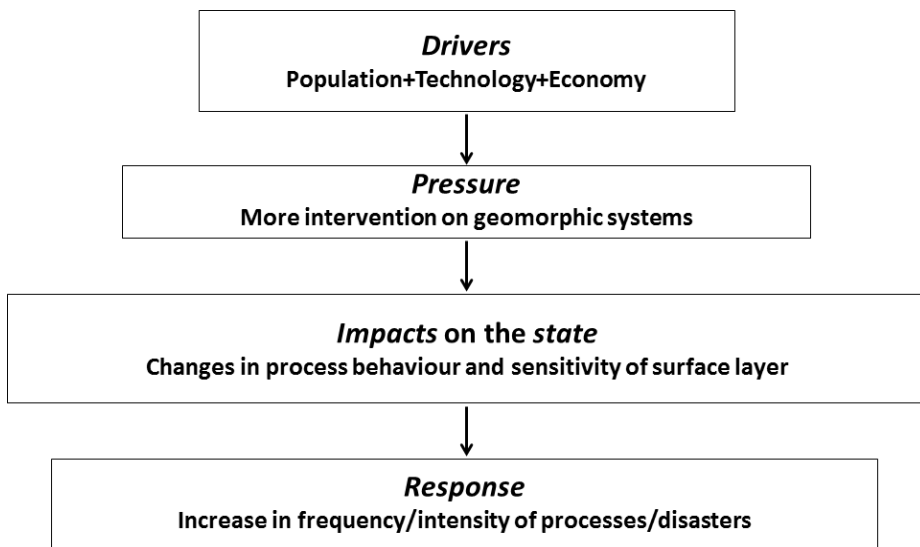


Figura I.2. Modelo conceptual de Cendrero et al. (2006).

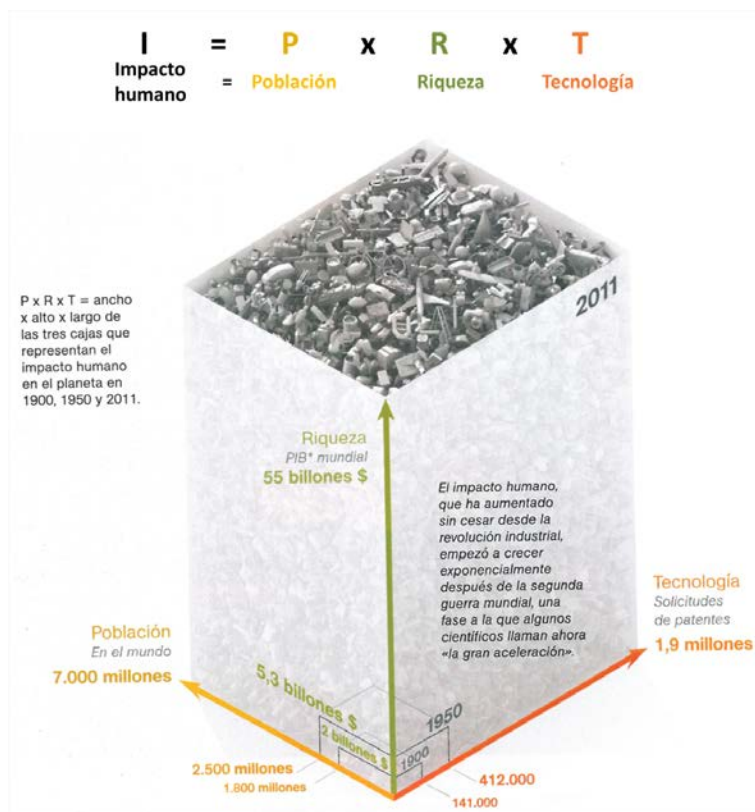


Figura I.3. Modelo de Kolbert (2011).

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

La metodología aplicada se basa en la obtención de datos que permitan comprobar la validez de algunas predicciones que se derivan de la hipótesis de trabajo (“si la hipótesis es correcta debería ocurrir que...”). Dicha hipótesis implica que las variables dependientes consideradas (generación de sedimento, frecuencia de desastres debidos a procesos geológicos superficiales) han de presentar variaciones en respuesta sobre todo a ciertas variables independientes (impulsores) relacionadas con la intensidad de las actividades humanas que modifican la superficie del terreno.

Naturalmente, las citadas variables dependientes pueden presentar variaciones que respondan a cambios en uno, otro o varios impulsores. Las variables independientes que pueden variar en el tiempo y, por tanto, afectar a la generación de sedimento son, por una parte, las lluvias y, por otra parte, la sensibilidad o resiliencia de la capa superficial del terreno ante los agentes causantes de la denudación (principalmente las lluvias, pero también la acción humana). Es evidente que un cambio en cualquiera de las variables causales puede producir cambios en la variable dependiente, aunque las demás variables independientes permanezcan constantes.

Con el fin de dilucidar la importancia relativa de los que, *a priori*, se consideran los impulsores más probables de los procesos de cambio descritos, se han realizado comparaciones (y, cuando la naturaleza de los datos lo ha permitido, correlaciones) entre indicadores de las variables consideradas, encaminadas a comprobar las predicciones formuladas. En el caso de la generación de sedimento se ha acudido a utilizar las tasas de sedimentación, ya que se pueden determinar para el pasado, cosa que no es posible con las tasas de erosión. Las tasas de sedimentación, lógicamente, dependen de las de erosión, pero también de otros factores, entre los que cabe señalar especialmente la construcción de represas, que retienen los sedimentos y pueden dar lugar a disminución de la sedimentación en ciertos lugares, aunque esté aumentando la generación de sedimento en la cuenca correspondiente. En el caso de los desastres hidrogeomorfológicos se ha empleado la frecuencia anual de los mismos, tomando como fuente de información las bases de datos internacionales (Desinventar, CRID, CRED, EM-DAT/CREC, Darmouth Flood Observatory, SCHEDULS, etc.)

Para los impulsores naturales, se ha considerado la precipitación anual y, cuando los datos lo han permitido, algún indicador de la frecuencia de precipitaciones intensas. En el caso de los impulsores humanos, se ha acudido a indicadores cuya obtención es posible con carácter general y que se relacionan estrechamente con la intensidad de las actividades humanas en general, o específicamente con las que de manera más directa afectan a la naturaleza física del territorio (población, PIB, consumo de energía o de cemento, superficie cultivada, etc.). Los datos correspondientes se han obtenido de: Australian Bureau of Statistics, National Bureau of Statistics of China, National Bureau of Statistics of India, US Census Data and Statistics, US Bureau of Economy Analysis, United Nations Statistics Division, World Bank, FAO, OECD, EUROSTAT, CEPAL, FAO, MADDISON DATASET 2010, Bolt & Van Zanden, 2013, entre otras fuentes privadas y oficiales consultadas.

La primera predicción formulada a partir del modelo anteriormente descrito es que debería existir un aumento de las tasas de generación de sedimento y, consecuentemente, de las tasas de sedimentación a lo largo del tiempo. También que, si existe ese aumento, debería mostrar una correlación con indicadores de la intensidad de la intervención humana sobre el territorio.

Para comprobar esta predicción se han seguido las siguientes líneas de trabajo:

- Realización de sondeos en lagunas y estuarios y datación de los mismos, con el fin de determinar las tasas de sedimentación a lo largo del último siglo. Los métodos de datación utilizados se han descrito en contribuciones anteriores (Bonachea et al., 2010; Bruschi et al., 2012, 2013 a, b)
- Obtención, en las mismas zonas, de datos sobre las tasas de sedimentación en épocas anteriores, con el fin de compararlas con las tasas actuales y recientes.
- Recopilación de datos, a partir de la literatura o de bases de datos existentes, sobre las tasas de sedimentación en cuencas (lacustres, costeras).
- Para las zonas en las que se han obtenido los datos anteriores, y para lapsos temporales similares, recopilación de datos sobre posibles impulsores de la generación de sedimento, tales como precipitaciones, PIB y otros

indicadores del grado de intervención humana sobre el territorio.

- Análisis de las posibles relaciones o correlaciones temporales entre las variables independientes anteriores (impulsores) y la variable dependiente (generación/acumulación de sedimento).

La segunda predicción es que la frecuencia/magnitud de los desastres debidos a procesos de tipo hidro-geomorfológico debería aumentar con el tiempo, y que dicho aumento debería presentar una correlación más estrecha con indicadores de la actividad humana que con impulsores climáticos (lluvias).

En relación con esta predicción se tienen que tener presentes algunas cosas. Los datos sobre desastres naturales se han obtenido a partir de bases de datos internacionales que recopilan, anualmente y por países, la ocurrencia de los mismos. Dichos desastres se agrupan en tres categorías: geológicos (terremotos y erupciones volcánicas), climáticos (sequías, tormentas, etc.) e hidrogeomorfológicos (inundaciones, deslizamientos).

Es de esperar que el número de todo tipo de desastres naturales aumente con el tiempo y con el PBI. En primer lugar, el aumento de PBI implica una mejor organización de los países y una recopilación de datos más completa, por lo que cabe esperar un aumento de todos los desastres recogidos en las bases de datos a causa de una simple mejora de las estadísticas.

En segundo lugar, las bases de datos citadas recogen solamente aquellos eventos naturales que se consideran como “desastres”; esto es, que dan lugar a pérdida de vidas o daños materiales significativos. Un evento natural de gran magnitud que no produzca daños (por ejemplo, un terremoto o una inundación en una región deshabitada) no se reflejaría en esas bases de datos. Pero la producción de daños (riesgo), como es bien sabido, es función de tres factores: $R = f(H, E, V)$; siendo H la peligrosidad, E la exposición y V la vulnerabilidad. El crecimiento del PBI (total, no *per capita*) va unido a un aumento de la población, edificios, infraestructuras, actividades económicas de todo tipo, etc. en el territorio, lo que representa un aumento de la exposición y, por tanto, de la probabilidad de que un evento natural violento dé lugar a daños y se catalogue como desastre. Aumentaría así la frecuencia de desastres (R) aunque no variase la de eventos naturales peligrosos (H). Ambos hechos afectan a todos los desastres.

En tercer lugar, el aumento del PBI se corresponde, como es bien sabido, con una mayor generación de gases de efecto invernadero y el consiguiente calentamiento global. El cambio climático consecuencia de lo anterior implica una mayor frecuencia de los episodios climáticos extremos (IPCC, 2013), entre otros las lluvias intensas. Esto debería producir un aumento de la frecuencia de los desastres de tipo climático y de tipo hidrogeomorfológico.

Finalmente, mayor PIB implica mayor presencia y mayor grado de intervención humana sobre el territorio (la huella geomorfológica humana en sus distintas manifestaciones), lo que estaría dando lugar a una reducción de la resiliencia de la capa superficial y una intensificación de los procesos geológicos superficiales. Esto afectaría solamente a la frecuencia/magnitud de los desastres de tipo hidrogeomorfológico.

Por todo ello, si la hipótesis de trabajo es correcta, los desastres debidos a procesos geológicos superficiales deberían ser los que aumentarían en mayor medida con el tiempo y con el PBI, y los que menos los debidos a procesos relacionados con la dinámica interna del planeta. Además, la mejor correlación PBI/frecuencia de desastres debería ser para los primeros, y la peor para los segundos.

Otra predicción que se formula es que, si la hipótesis es correcta, la distribución espacial de las tasas de generación de sedimento y de la frecuencia de los desastres naturales debidos a procesos geomorfológicos debería, a igualdad de otros factores, guardar más relación con la presión geomorfológica humana que con las precipitaciones.

Como es lógico, las correlaciones anteriores deberían ser tanto mejores cuanto mayores sean las unidades de análisis. Las variables que intervienen en la ocurrencia de los desastres que se recogen en las bases de datos, o en la generación y depósito de sedimentos, son diversas y si el territorio analizado es de poca extensión, aumenta la probabilidad de que alguna variable no demasiado significativa a nivel global, sí lo sea en ese territorio concreto. En otras palabras, cabría esperar mejores correlaciones para continentes que para cuencas o países.

Con el fin de comprobar las predicciones anteriores sobre los desastres naturales, se han realizado las tareas y análisis siguientes:

- Recopilación de series de datos temporales, por países y a partir de bases de datos existentes, sobre la frecuencia de los distintos desastres naturales. Determinación de las

tendencias de cambio y el factor de aumento de los mismos, agrupados en las tres categorías indicadas.

- Recopilación de series de datos temporales, por países y a partir de bases de datos existentes, sobre PBI.
- Análisis de correlaciones PBI/frecuencia de desastres, a niveles global, continental, regional y nacional.
- Recopilación de series de datos temporales sobre precipitaciones (precipitación total y frecuencia de episodios de lluvias intensas) en distintas regiones del mundo
- Análisis de posibles relaciones entre precipitaciones y frecuencia de desastres hidrogeomorfológicos.
- Para la comprobación de las predicciones sobre la distribución espacial de tasas de sedimentación y desastres naturales se ha realizado lo siguiente:
- Incorporación de todos los puntos en los que se dispone de datos sobre tasas de sedimentación en un SIG, y correlación de estas con la presión geomorfológica humana (PBI/km^2) y con las precipitaciones.
- Comparación y correlación, en grandes unidades, entre los promedios de las tasas de sedimentación y la presión geomorfológica humana y las precipitaciones.
- Recopilación de datos sobre un indicador de la intensidad de la degradación del territorio por acción humana, el Land Degradation Index (LDI) de FAO (FAOSTAT. <http://apps.fao.org>).
- Análisis de las posibles correlaciones entre el LDI y la frecuencia de desastres debidos a procesos geológicos superficiales.

Las bases de datos consultadas se enumeran en el apartado de referencias. Los detalles específicos sobre los procedimientos y técnicas utilizados se han descrito en: Rivas et al. (2006), Cendrero et al. (2006, 2007), Bonachea et al. (2010); Bruschi et al. (2008, 2012, 2013 a, b), Forte (2011), Hurtado et al. (2015), Forte et al. (2016). En los capítulos siguientes, cuando se ha estimado necesario, se detallan los aspectos concretos de la metodología aplicada a los análisis correspondientes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Determinaciones de la variación temporal de las tasas de sedimentación.

El análisis de las tendencias de cambio en las tasas de sedimentación se ha abordado siguiendo dos estrategias diferenciadas. Por un lado y según se ha descrito en la metodología, se han llevado a cabo extracciones de testigos de sondeos y datación de los mismos por medio de Pb-210, a partir de las cuales se han calculado las tasas para aproximadamente el último siglo. Esas dataciones, por razones evidentes, se han realizado en un número limitado de lugares, en la cuenca del Río de la Plata. Resultados parciales basados en las citadas dataciones se han presentado por parte de Bonachea et al., (2010), Cendrero et al. (2010), Hurtado et al. (2012), Bruschi et al. (2012, 2013 a, b) y Forte et al. (2015). En segundo lugar, se han estimado las tasas de sedimentación en lagunas de la Pampa húmeda, a partir de la obtención de sucesiones sedimentarias y de datos o estimaciones de las tasas de erosión y generación de sedimento. Los resultados de lo anterior se han contrastado con determinaciones adicionales de tasas (Forte et al., 2016). El conjunto de los resultados obtenidos se resume y discute a continuación.

3.1.1. Cuenca del Río de la Plata.

El primer conjunto de resultados corresponde a la cuenca del Río de la Plata (Fig. RP.1), que es la tercera más grande del mundo ($3.1 \times 10^6 \text{ km}^2$), tras las del Amazonas y el Congo. Es una cuenca compartida por Brasil, Argentina, Bolivia, Uruguay y Paraguay, que concentra más del 75 % del PIB de esos cinco países. Los dos primeros abarcan el 70% de la superficie de la cuenca y contienen el 90% de la población de la misma (Tabla RP.1; datos a partir de Coronel y Menéndez, 2006 y de CEPAL). La población de la zona se ha multiplicado aproximadamente por 10 en el último siglo, y también ha crecido de forma sustantiva el PIB “per capita”, lo que ha dado lugar, como se muestra más adelante, a un considerable aumento del PIB total de la zona. Esto, lógicamente, ha llevado aparejado un importante aumento de las acciones humanas sobre el territorio, por lo que, de ser cierto el modelo que se trata de comprobar, se debería haber producido un incremento de las tasas de generación de sedimento y de la sedimentación asociada.

La cuenca del Río de la Plata, cuyas principales características geológicas se han descrito por OEA (1971) e Iriondo (1996, 2000), presenta elevaciones del orden de 1500-2000 m en las cadenas costeras de Brasil y superiores a 5000 m en la zona andina (Fig. RP.1). En ella se diferencian cinco grandes unidades. A) El Escudo Brasileño, hacia el NE, en el que dominan las rocas metamórficas, principalmente neises. Se encuentran generalmente cubiertas por depósitos cuaternarios de loess. Una unidad similar aparece al SE del río Uruguay. B) Una unidad jurásico-cretácica de basaltos y areniscas, bordeada por dos franjas de depósitos glaciares carboníferos, y cubierta por una fina capa de depósitos eólicos. C) La unidad Chaco-pampeana, en la parte O-SO, formada por depósitos cuaternarios (arenas finas, limos y arcillas). D) La Cordillera, incluyendo las Sub- Sierras Sub-andinas, la Puna Argentina y las tierras altas de Bolivia, formadas por una serie de cinturones montañosos constituidos sobre todo por rocas sedimentarias terciarias. E) Las llanuras orientales, al este de la línea Paraná-Paraguay, que incluyen los grandes abanicos aluviales del Pantanal de Mato Grosso y los potentes depósitos arenoso-arcillosos de origen fluvial de la Mesopotamia Argentina.

El clima de la cuenca varía desde árido en el NO a tropical húmedo en el N y NE y subtropical-templado en las zonas centrales y meridionales. Las precipitaciones anuales oscilan entre <50 mm en zonas de la Cordillera Argentina y > 4000 en el Alto Paraná de Brasil, si bien la mayor parte de la cuenca recibe 800-1400 mm/año. La intensidad de las actividades humanas también varía muy ampliamente, desde zonas prácticamente deshabitadas en la Puna, hasta grandes concentraciones urbano-industriales que incluyen megalópolis como São Paulo y Buenos Aires. Los tres grandes ríos de la Cuenca (Paraná, Paraguay y Uruguay) dan lugar a un complejo sedimentario progradante dentro del estuario del Río de la Plata, el Delta del Paraná, que recibe alrededor de $160 \cdot 10^6 \text{ t a}^{-1}$ de sedimentos (Sarubbi et al., 2004).

Dentro de esa cuenca se obtuvieron las tasas de sedimentación a partir de testigos de sondeo en cuatro zonas (Fig. RP.1), cuyas características se resumen en la tabla RP.2. Los datos obtenidos en ella se presentan en la tabla RP.3. Dos de ellas (represa de Barra Bonita y lagunas del Pantanal, Brasil), corresponden a áreas en las cuales la presencia y la actividad humanas han crecido de manera considerable desde mediados del siglo XX. Una tercera es el propio estuario del Río de la Plata, en el cual es de esperar que se reflejen el conjunto de las alteraciones que se hayan producido en la cuenca. En estas tres se esperaba, de acuerdo con el modelo, que se registraran aumentos de las tasas de sedimentación. La

cuarta zona, la Laguna de Pozuelos (Argentina), corresponde a un área escasamente poblada y en la cual la población y la actividad humana han variado muy poco a lo largo del último siglo. Por ello, de nuevo de acuerdo con el modelo propuesto, se esperaba que no se registraran variaciones significativas en las tasas de erosión y sedimentación. A continuación, se presentan y discuten los resultados obtenidos en cada una de ellas.

Represa de Barra Bonita.

Esta represa, con 310 km² de extensión y una cuenca de 12.450 km², se construyó en 1963. El reservorio recibe las aguas de los ríos Piracicaba y Tietê, que incluyen una parte importante de la aglomeración urbana de São Paulo, la más dinámica de Brasil desde el punto de vista demográfico y económico. La población en la cuenca es de 4,5 millones de habitantes (IBGE, 2006; Projeto Piracena, 2001), y contiene importantes áreas urbano industriales, explotaciones de materiales de construcción y agricultura intensiva. Se extrajeron dos sondeos en el embalse (Fig. RP.2).

Los resultados de las determinaciones de las tasas de sedimentación se muestran en la figura RP.3. También se han representado los datos sobre precipitaciones y caudales fluviales, así como de población (cuenca) y PIB (Estado de São Paulo). No se han podido obtener datos desagregados de PIB para la cuenca, por lo que se han utilizado como “proxy” los del conjunto del estado. Como se comenta más adelante, esta aproximación se ve confirmada por el notable paralelismo entre las curvas de población y PIB.

En los dos sondeos realizados, las tasas de sedimentación muestran un ligero crecimiento a partir de los años 80, y un aumento muy marcado a partir de 2000. En unos 20 años las tasas de sedimentación se multiplicaron aproximadamente por un factor 10. Por su parte, las precipitaciones totales o el número de meses al año con lluvias superiores a 200 mm (una grosera aproximación a la frecuencia de episodios de lluvias intensas), muestran bastante estabilidad desde los años 60. En el periodo analizado hubo 40 meses con precipitaciones >300 mm, y 11 con >400 mm, que en ambos casos se distribuyen de manera bastante uniforme y en ningún caso muestran mayor concentración en las últimas dos décadas del registro (Dantas-Ferreira, 2008). Los caudales de los ríos muestran, como es lógico, un cierto paralelismo con los de las

precipitaciones, así como una tendencia, no muy definida, a disminuir en la última parte del periodo analizado.

Los datos sobre potenciales impulsores humanos muestran tendencias bastante diferentes. La cuenca del Piracicaba es una región muy poblada y dinámica desde el punto de vista económico. Su importancia económica se pone de manifiesto por el hecho de que, aunque representa algo menos del 5% de la población del Estado de Sao Paulo, concentra cerca del 20% de su riqueza. La población en la cuenca aumentó aproximadamente por un factor 4,5 entre 1960 y 2010, sobre todo debido al aumento de población urbana. La población urbana era el 50% en 1950, 90% en 1991 y casi 95% en 2007 (Dantas-Ferreira, 2008). Naturalmente, este aumento de la población urbana implica una considerable expansión de actividades de extracción de materiales de construcción, edificación y obras públicas, que alteran grandemente la superficie terrestre y contribuyen a la generación de sedimento.

Los datos sobre PIB que se muestran corresponden al conjunto del Estado de São Paulo, porque los datos desagregados para la cuenca solo se pudieron obtener a partir de 1998. Es razonable suponer que las tendencias de variación hayan sido similares en ambos casos, lo que se ve confirmado por el paralelismo entre las curvas de población y PIB. Si acaso, el aumento ha debido ser más marcado en la cuenca que en el estado, ya que desde 1998 el crecimiento del PIB en aquella ha duplicado al del este (IBGE, 2006).

Además de lo anterior, ha habido otras alteraciones importantes en la cuenca del Piracicaba (Projeto Piracena, 2001, Rudorff et al, 2004; FAOSTAT, 2007; Dantas-Ferreira, 2008). Desde 1970 hasta finales de siglo la extensión de vegetación más o menos natural (bosques y pastos) se redujo en más del 60%, y aumentó en más del 50% la superficie cultivada. No hemos podido obtener datos recientes, pero los reconocimientos sobre el terreno hasta 2010 indican que la tendencia sigue o incluso se intensifica.

De particular interés es el caso de la caña de azúcar. Entre 1960 y 2007 la superficie dedicada al cultivo de caña en Brasil pasó de 1,4 a 7 x10⁶ ha (FAOSTAT, 2007). El Estado de São Paulo concentra más del 50% de la producción de caña del país, y en los últimos 20 años es donde ha tenido lugar la mayor expansión de este cultivo, incluyendo la cuenca del Piracicaba. El cultivo de la caña genera una fuerte erosión. Sparovek y Schnug (2001) estiman que la erosión en estos cultivos es 15 veces mayor que en pastizales. Por su parte, Fiorio et al. (2000) describen el caso de un

embalse en una pequeña cuenca en el Piracicaba que, en 20 años, como consecuencia de una expansión del cultivo de caña del 25% al 75% de su superficie, perdió el 50% de su capacidad de almacenamiento a causa de la colmatación.

Otra actividad que ha debido contribuir de manera importante a la generación de sedimento en la cuenca de Barra Bonita es la expansión de las extracciones de limos y arcillas para las industrias cerámicas (principalmente para la construcción) en una zona unos 50 km aguas arriba de la represa, que se intensificó a partir de los años 80.

En conjunto, aunque los datos sobre parte de las actividades humanas en la cuenca de la represa son cualitativos o semi-cuantitativos, parece evidente que ha habido un fuerte aumento de actividades que perturban la superficie del terreno y contribuyen a la generación de sedimento, especialmente desde 1980. Esto es, mientras los datos sobre precipitaciones no revelan la existencia de variaciones significativas, los datos e informaciones complementarias sobre impulsores humanos muestran un aumento de los mismos que se asemeja al aumento de las tasas de sedimentación.

Pantanal.

El Pantanal (Fig. RP.4), es el humedal más grande del mundo, con una cuenca de unos 650.000 km², en la cual las actividades humanas han aumentado considerablemente desde la segunda mitad del pasado siglo. Ese aumento ha sido especialmente marcado en los relieves circundantes del “Planalto”.

Los datos sobre tasas de sedimentación que se presentan aquí proceden del trabajo de una investigadora copartícipe en el proyecto de investigación dentro del cual se ha realizado esta tesis (Bezerra, 1999). Se trata de tres sondeos en sendas lagunas de la zona SO del Pantanal, cerca del río Paraguay y dinámicamente conectadas con este (Fig. RP.4). Los resultados (Fig. RP.5) se muestran junto con los datos de precipitaciones (estación de Cuiabá, Instituto Brasileiro de Meteorologia), niveles fluviales (número de días con nivel igual o superior a 3,5 m; datos del 6º Distrito Naval Brasileño, correspondientes a la estación de aforo de Ladário, sobre el río Paraguay, cerca del desagüe del Pantanal) población y cabaña ganadera.

Los datos de población corresponden a los estados de Mato Grosso y Mato Grosso do Sul, que incluyen aproximadamente el 80% de la cuenca (IBGE). De esa población, aproximadamente el 55-60% se encuentra en la cuenca del Pantanal, pero no se han podido obtener datos desagregados para esta. No obstante, aunque los valores absolutos sean diferentes, es más que razonable pensar, teniendo en cuenta lo amplio de la muestra, que las tendencias de cambio a lo largo del tiempo serán muy similares.

En los tres lagos muestreados se observa un claro aumento de las tasas de sedimentación a partir de 1970, en particular en Lagoa Castelo. Esta laguna es la que presenta sedimentos de grano más grueso, debido a que está conectada todo el año, a través de un canal, con el río Paraguay. En los otros dos lagos, con sedimento más fino y conexión con el río limitada a los periodos de crecidas, el incremento ha sido menos marcado. Es de destacar que el aumento en las tasas de sedimentación se inició en Lagoa Negra con posterioridad a las otras dos lagunas. Esto se explica porque a principios de los años 70 se inició la construcción de una carretera y una represa, que cortaron en parte la comunicación con el río, y que posteriormente se abandonaron.

Se pueden identificar tres periodos diferentes a partir de los datos de precipitaciones y niveles fluviales (Fig. RP.5). Hasta 1960 las precipitaciones y los máximos niveles del río fueron bastante elevados, así como el número de días con nivel $>3,5$ m. Entre 1960 y 1973 las precipitaciones, los niveles máximos y el número de días con nivel $>3,5$ m muestran una reducción, volviendo a aumentar a partir de esa fecha. En este último periodo se aprecia una frecuencia mucho mayor de días con $>3,5$ m. Estos datos sugieren que las precipitaciones pueden haber favorecido el aumento de la generación y depósito de sedimento, pero que seguramente ese no ha sido el principal factor causante del aumento en las tasas de sedimentación. El régimen de precipitaciones fue muy similar antes de 1960 y después de 1974, pero las tasas de sedimentación fueron muy superiores en el último periodo. Además, a pesar de las diferencias en precipitaciones, las tasas de sedimentación pre-1960 y 1960-73 fueron muy parecidas.

La situación es diferente en relación con las actividades humanas. En los años 70 hubo una serie de incentivos gubernamentales para el desarrollo del Pantanal y el “Planalto” adyacente, que implicaron una expansión importante de la agricultura y la ganadería (Prance and Shaller 1982; PCBAP, 1997; Cunha, 1998), con los consiguientes cambios de cobertera y usos del suelo. La superficie dedicada a la soja se expandió de

manera importante a partir de 1980 (Collischonn, 2001). Los pastos cultivados pasaron de $1,285 \times 10^6$ ha en 1970 a 6×10^6 ha en 1990 y la cabaña ganadera aumentó por un factor de 4,5 (IBGE). En la cuenca de Lagoa Negra, la zona deforestada pasó de 6% en 1965 a 38% en 1982 (Isquierdo, 1997) a causa de la producción de carbón de leña.

Los indicadores más sintéticos y mejor cuantificados, población y PIB (Fig. RP.5), muestran un fuerte crecimiento a partir de los años 50. Según Hany (2005), el crecimiento ha sido especialmente importante en la población urbana, que se multiplicó por 15 en Mato Grosso do Sul entre 1950 y 2000. El consumo de energía en el mismo estado pasó de 264.806 a 2.832.654 MWh en el periodo 1976-2000 (Empresa Energética de Mato Grosso do Sul; <http://www.semac.ms.gov.br>). Expansión urbana y consumo de energía están estrechamente relacionados con los cambios de uso del territorio y la perturbación de la superficie terrestre, con el consiguiente aumento de la sensibilidad de este ante agentes tales como la lluvia. No es por tanto sorprendente que se haya observado un aumento en las tasas de sedimentación coincidente en el tiempo con los cambios descritos. Es particularmente interesante poner de manifiesto que el lago en el que más aumentaron las tasas de sedimentación (Lagoa Castelo) es el que tiene mejor conexión con el río Paraguay y, por tanto, donde es de esperar que se reflejen en mayor medida los cambios que pueden influir en los procesos de erosión/sedimentación en la cuenca.

A partir de los datos anteriores se aprecia que las tasas de sedimentación en los lagos muestreados aumentaron en 30 años por un factor entre 3 y 8, y que ese aumento no parece explicarse por cambios en las precipitaciones (tal como indica la diferencia entre los periodos pre-1960 y post-1974, a pesar de la similitud en las precipitaciones). La explicación más plausible parece ser la disminución de la resiliencia de la capa superficial ante los agentes erosivos, como consecuencia de los extensos y diversos cambios en el territorio.

Esto coincide con lo señalado por varios autores (Galdino et al., 1997; Collischonn, 2001; Tucci, 2002; Krepper and García, 2004; Diniz et al., 2008) que encontraron cambios en los niveles fluviales y en el número de días con $>3,5$ m, a partir de 1973, que podrían deberse a aumentos de escorrentía causados por los cambios de uso, lo que es coherente con esta interpretación. También apoyan esta interpretación los resultados de Godoy et al. (2002) que, en una zona próxima y un ambiente bastante diferente, en el Taquarí medio, observaron aumentos similares en las tasas de sedimentación en sondeos realizados en otras lagunas.

Estuario del Rio de la Plata.

El estuario del Rio de la Plata (Fig. RP.6) abarca unos 35.000 km², y presenta profundidades que en general no superan los 10 m. Los sedimentos del fondo son una extensión de la parte subaérea del Delta del Paraná, con una gradación desde arena fina en la parte proximal a limos y arcillas en la distal.

En esta zona se extrajeron 3 sondeos (Fig. RP.6), uno en la Bahía de San Borombón (RP-1), en la parte distal del delta submarino. Otros dos en la zona interna, cerca de los puertos de La Plata y Buenos Aires y sus respectivas aglomeraciones urbanas, en las que sería lógico tener aumento de las tasas de sedimentación, como reflejo de las actividades humanas en el entorno. Uno de estos dos puntos (RP-2) está en una zona abierta a la circulación e influencia del estuario y otro (RP-3) en una zona de circulación restringida, en la que sería lógico tener menor aporte de sedimentos desde el estuario. Se esperaba, por tanto, encontrar aumentos de las tasas de sedimentación en RP-1 y RP-2, y estabilidad o aumento limitado en RP-3.

Durante el tratamiento del sondeo RP-1 hubo un problema. Debido a su alto contenido en agua, parte del material de los niveles superiores se perdió, por lo que los valores de densidad obtenidos son solo aproximados, lo que implica que las dataciones y tasas obtenidas por medio de ²¹⁰Pb (Fig. RP.7) tienen mayor incertidumbre. Afortunadamente, se pudo contar con datos adicionales para la datación y determinación de tasas. Los 3 cm superiores del sondeo contenían ⁷Be, un isótopo con un semiperiodo de 57 días. Esto indica que ese sedimento se depositó, como máximo, 400 días (7 semiperiodos) antes de la determinación, lo que equivale a una tasa de 2,7 cm/año. Otro dato con un claro significado cronológico se obtuvo a partir del análisis de metales pesados (Fig. RP.8) y del contenido en fragmentos de conchas en el sondeo. A 25 cm de profundidad se observa una reducción muy marcada de los fragmentos de conchas en el sedimento, que coincide con un fuerte aumento del contenido de la mayoría de los metales pesados, que luego disminuyen gradualmente con la profundidad. Esto se ha podido relacionar con la construcción, en 1987, de un nuevo canal al final del Río Salado. Ese canal. Con sección y gradiente mayores, debió acelerar el flujo, así como el aporte de sedimentos y metales pesados desde zonas más altas de la cuenca. El cauce natural cruzaba, en distintos lugares y de manera repetida, varios “beach ridges” formados sobre todo por fragmentos de

conchas (localmente conocidos como “cinturones de conchilla”) depositados en los márgenes del estuario en periodos con nivel del mar más elevado. El nuevo canal corta directamente a través de ellos y tiene una profundidad mayor, por lo que el agua circula la mayor parte del tiempo a un nivel por debajo de la conchilla. Eso dio lugar a que el contacto del agua con los fragmentos de conchas se redujera drásticamente, y por tanto también su aporte al sedimento del estuario. El aumento brusco de la concentración de metales pesados se explica por efecto del lavado de los mismos en la cuenca aguas arriba, al incrementarse el flujo por efecto del canal. La posterior disminución gradual de dicha concentración solo puede explicarse de dos formas. Disminución del aporte de metales o aumento del aporte de sedimento. Las consultas realizadas en la Secretaría de Política Ambiental y Desarrollo Sustentable de la Nación indicaron que en esas fechas y las posteriores no se implantaron en la cuenca medidas o tecnologías para la reducción de los aportes de metales pesados. Dicho tipo de medidas se implantaron en fechas mucho más recientes (“Programa Federal de Producción Limpia y Consumo Sustentable”, 2004 y “Plan Federal de Reconversión Industrial”, 2008), por lo que sus posibles efectos no se han podido reflejar en esos niveles del sondeo. Además (Fig. RP.8), la reducción afectó prácticamente a todos los metales, lo que indica que se trata de un proceso general, no de medidas encaminadas a atajar fuentes específicas de contaminación.

Utilizando la fecha de 1987 como referencia, se pudo obtener una tasa promedio de 0,3 cm/año para 1900-1987 y de 1,2 cm/año para 1987-2007 (fecha de extracción del sondeo). Esto presenta un alto grado de coincidencia con los resultados obtenidos a partir de ^{210}Pb (Fig. RP.7).

El sondeo RP-2 (Ensenada) presentó una distribución muy irregular de Pb en todo el perfil, lo que indica que debió experimentar mezcla por acciones humanas o por procesos de bioturbación, por lo que no pudo datarse. El sondeo RP-3, ubicado en una zona con conexión limitada con el estuario, presentaba tasas de sedimentación constantes (Fig. RP.7).

A partir de los datos anteriores, parece que la sedimentación ha aumentado de manera considerable en la parte distal del delta sumergido (zona externa del estuario), siendo especialmente marcado dicho aumento en las últimas 2-3 décadas. Por otra parte, la estabilidad de las tasas de sedimentación en el sondeo RP-3, coincidente con lo que se esperaba, sugiere que dicho punto refleja la influencia local, y que no está prácticamente afectado por el aporte general de sedimentos al estuario.

Esto es, los resultados son coherentes con las predicciones formuladas a partir de la hipótesis. No obstante, los datos obtenidos hasta ahora no son suficientes para establecer con un grado de seguridad razonable la validez del modelo propuesto. Es necesario obtener más datos que permitan determinar las variaciones temporales de la sedimentación en otros puntos del estuario.

Existe información independiente que permite complementar los datos anteriores, obtenida a partir del análisis de cartas de navegación, mapas, fotografías aéreas e imágenes de satélite del Delta del Paraná correspondientes a distintas fechas (Cavallotto, 1988, 2002; Cavallotto et al., 2005; Sarubbi et al., 2006; Forte et al., 2008). Los resultados presentados por dichos autores sugieren que el aumento del aporte de sedimentos al delta ha debido ser un proceso general. La progradación experimentada por el delta subaéreo (expresada como superficie del mismo) se muestra en la figura RP.9. Por supuesto, el aumento de la superficie ocupada por la parte emergida del delta es solo una grosera aproximación al volumen acumulado y la tasa de aporte de sedimento, pero representa un dato de utilidad. La tendencia general de avance es lineal, con un periodo inicial (hasta 1969) de crecimiento acelerado (¿exponencial?), seguido de una reducción de la tasa y un nuevo aumento.

Es interesante señalar, en relación con lo anterior, que hasta finales de los años 60 había muy pocas represas en toda la cuenca. A partir de esas fechas hubo una gran actividad constructiva en este rubro, hasta alcanzar las más de 130 represas existentes en la actualidad. Los datos obtenidos por distintos autores en zonas aguas arriba y aguas debajo de represas en diferentes ríos de la región (Latrubesse et al., 2005; Syvitski et al., 2005; Bonetto et al., 2006; Stevaux et al., 2009; Amsler and Drago, 2009), muestran que las reducciones en la carga sedimentaria superan el 60%. En otras regiones del mundo se han encontrado reducciones por factores que oscilan entre 2 y 200, normalmente 10-20 (Milliman and Meade, 1983; Meade and Parker, 1985; Meade et al., 1990; Milliman and Syvitski, 1992; Bobrovitskaya et al., 2003; Vörösmarty et al., 2003; Walling and Fang, 2003; Renwick et al., 2005a, b; Syvitski et al., 2005; Walling, 2006; Wang et al., 2007; Xu and Milliman, 2009; Sloss et al., 2011; Bai et al., 2013; Tang et al., 2014; Jayaprakash et al., 2015; Selvaraj et al., 2015; Humane et al., 2016).

A partir de lo anterior, se puede concluir que el aporte de sedimentos a los cursos de agua del sistema Paraná-Paraguay-Uruguay debió aumentar de manera muy considerable a lo largo de la segunda mitad del

siglo pasado y en lo que va del actual. Esto es así porque, a pesar de la retención que se ha debido producir en las numerosas represas existentes, las tasas de sedimentación han aumentado o permanecido estables en los lugares donde se han determinado, y no se observa reducción en el avance del delta. Por otro lado, debe tenerse presente que la mayoría de las represas construidas se encuentran aguas arriba de la confluencia del Río Bermejo, que aporta una cantidad de sedimentos muy importante. Las observaciones y datos sobre tasas de sedimentación que se han presentado, podrían reflejar sobre todo los cambios en la cuenca de este río.

La comparación de los resultados anteriores con los datos sobre posibles impulsores proporciona algunas claves de interés. En la figura RP.7 se muestran los datos de precipitaciones y caudales de los ríos obtenidos a partir de las estaciones que se figuran en la figura RP.1. Se aprecia que ha habido variaciones en las precipitaciones (tanto total anual como número de meses/año con >200 mm), que se reflejan en parte en la descarga de los ríos. Se identifican tres periodos principales. Hasta 1950 la precipitación total anual, el número de meses con lluvias intensas y la descarga fluvial fueron relativamente bajos. Entre 1950 y 1980 las lluvias aumentaron, pero no así la descarga de los ríos. Desde esa fecha ha habido precipitaciones ligeramente mayores que en el anterior, pero un aumento marcado de los caudales.

La explicación de la amplificación de la respuesta hidráulica en relación con las lluvias que se pone de manifiesto en los datos anteriores apunta, según han señalado diversos autores, a cambios de uso del territorio. Según Tucci y Clarke (1998), la extensión de terreno dedicada a la agricultura en la Cuenca del Río de la Plata inició un considerable crecimiento en los años 50, y ha seguido hasta la actualidad. En paralelo, se han observado cambios en la descarga fluvial (Halcrow, 1994; Paoli and Cacik, 2000; Menéndez, 2006). El caudal medio en el periodo posterior a 1980 es 37% mayor que el del periodo 1902-1970. También son mayores los máximos y mínimos anuales, y ha aumentado la frecuencia de las inundaciones (de las cuatro inundaciones con caudales $>50,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 1905, 1983, 1992, 1998, tres corresponden a ese periodo). El aumento de la descarga media se ha atribuido a una mayor escorrentía en el alto Paraná, que solo en parte se explicaría por aumento de las lluvias, siendo los cambios de uso la explicación más plausible. El aumento de los caudales anuales máximo y mínimo se atribuye a la acentuación de la respuesta hidrológica por cambios de uso. Saurral et al. (2008) señalan que la escorrentía en el Río Uruguay presenta tiempos de respuesta progresivamente más cortos, que no parecen corresponder a

cambios en las precipitaciones, sino a cambios de uso. Por su parte, Beverly et al. (2006) concluyen que la respuesta del caudal de los ríos excede claramente al aumento de las precipitaciones, de modo que el incremento porcentual de aquella duplica al de estas. Este conjunto de observaciones es coherente con los datos que presentamos, y con el modelo propuesto.

Laguna de Pozuelos.

Esta zona se seleccionó con la intención de que sirviera como control y contraposición a las anteriores. Al contrario de éstas, se trata de un área con presencia y actividad humanas muy limitadas (< 1 hab/km² y actividad económica que se limita casi exclusivamente al pastoreo extensivo de llamas y ovejas), y que casi no han experimentado variaciones desde inicios del siglo XX. Se enclava en una cuenca endorreica (Fig. RP.10) de unos 4000 km², con altitudes superiores a 3500 m. La profundidad de la lámina de agua en la laguna no suele sobrepasar 1 m, llegándose a secar totalmente en algunas épocas secas.

En la figura RP.11 se presentan los valores de las tasas de sedimentación obtenidos a partir de la datación de los sondeos por medio de ²¹⁰Pb, junto con los datos sobre precipitaciones, población y cabaña ganadera, que representa la única actividad económica de un cierto significado en la zona. Se observa que las tasas de sedimentación han variado muy poco durante el periodo analizado, y lo mismo ocurre con los posibles impulsores de los procesos de erosión/sedimentación. Las precipitaciones no muestran una tendencia de cambio definida, tanto si se considera el total anual (Fig. RP.11) como los totales mensuales, que representan un “proxy” de los episodios de lluvias intensas. Los datos de población (Gil-Montero, 2004) y cabaña ganadera (comunicaciones personales de R. Tecchi, Universidad Nacional de Jujuy, y O.H. Mendoza, INDEC) también muestran bastante estabilidad, o una ligera disminución a partir de mitad del pasado siglo. Aunque estos datos presentan algunas incertidumbres (Bonachea et al., 2010), puede afirmarse con bastante seguridad que no ha habido variación significativa en la presión humana sobre el territorio. Esto se ha comprobado también en los recorridos realizados con motivo del presente trabajo, comparando la situación observada con las descripciones de Ottonello et al. (1982) y Cendrero et al. (1993).

Si bien la calidad de los datos sobre los impulsores potenciales (especialmente la resolución de los datos sobre precipitaciones) no es la ideal, la imagen de conjunto que se obtiene es de bastante estabilidad en todos ellos, lo mismo que ocurre con las tasas de sedimentación. Esto es, los resultados obtenidos son coherentes con la predicción hecha a partir del modelo.

Indicadores sobre impulsores humanos.

Todos los indicadores obtenidos sobre impulsores humanos en la cuenca del Río de la Plata muestran incrementos muy marcados. Conviene señalar que los datos que se presentan a continuación no se refieren estrictamente a la cuenca, puesto que no es posible obtener información desagregada sobre los diferentes indicadores que se pueda hacer corresponder de manera exacta con los límites de la cuenca hidrográfica. Ahora bien, lo que se necesita para las comparaciones que se hacen aquí no son los valores absolutos, sino las tendencias de cambio a lo largo del tiempo (variación relativa). En la figura RP.12 se ha representado la variación del PIB de los cinco países que integran la cuenca, la de Brasil+Argentina y la de los estados/provincias de Brasil y Argentina que realmente tienen parte de su territorio dentro de la cuenca. Como se ha señalado anteriormente, Brasil y Argentina representan más del 90% del PIB de la cuenca, y algo menos del 90% de la población. Al mismo tiempo, el conjunto de la población y el PIB de ambos países que se ubica en la cuenca del Río de la Plata son, respectivamente, 60% y 70% (Tabla RP.1). Por todo ello, la tendencia de variación (insistimos, no los valores absolutos) de los parámetros socioeconómicos de los dos países se puede considerar como representativa de la tendencia de variación en la cuenca. Eso se pone de manifiesto observando la figura RP.12, en la cual se aprecia que los factores de multiplicación de las distintas formas de expresar la población son del orden de tres y los del PIB de 6-7.

En la figura RP.13 se representan los valores de distintos indicadores que se relacionan con la intensidad de las acciones humanas que afectan al territorio y pueden afectar a los procesos de infiltración/escorrentía y generación de sedimento (población, PIB, consumo de cemento, consumo de energía, superficie cultivada, cabaña ganadera). La tabla RP.4 muestra los factores de crecimiento de los distintos parámetros para distintos periodos (dependiendo del periodo cubierto por las diferentes series de datos que se han podido obtener). Se aprecia claramente que los impulsores con mayores factores de crecimiento son los que, en principio,

se relacionan de manera más directa con la perturbación del territorio y su posible efecto en la erosión/sedimentación: PIB, consumo de cemento, consumo de energía. Si se considera el periodo posterior a 1960, para el cual se tienen datos sobre todos los indicadores (con la excepción de consumo de energía, 1970), se observa que los factores de crecimiento de dichos parámetros son muy similares a los de las tasas de sedimentación en las distintas zonas de estudio, con la lógica y esperada excepción de la laguna de Pozuelos.

Según han señalado distintos autores, la deforestación en la Cuenca supera el 26% y en más del 60% de las zonas de cultivo se aplican prácticas inadecuadas para la conservación del suelo (Tucci and Clarke, 1998, Grau and Brown, 2000; OAS-UNEP, 2005; Viglizzo and Frank, 2006; Boletta et al., 2006; Gaviño-Novillo, 2007; Izquierdo and Grau, 2009). Ese tipo de actuaciones son muy probablemente las que impulsan la creciente erosión y consiguiente sedimentación asociada.

Según Brea et al. (1996, 1999 a, b, c), el aporte de sedimentos al Río Paraná procede esencialmente del NW de la cuenca (la parte alta de la cuenca del Río Bermejo, tributario del Paraguay que es a su vez el principal afluente del Paraná). Por ello, la comparación entre tasas de sedimentación e impulsores humanos podría ser más significativa si se considerase solamente esa zona, que se corresponde en gran medida con la parte argentina de la cuenca. En la figura RP.14 se muestra la variación de población y PIB en las provincias de Argentina que se encuentran en la Cuenca del Río de la Plata (excepto Buenos Aires, que tiene gran parte de su territorio fuera de ella), así como de las provincias de Salta y Jujuy, que coinciden aproximadamente con la cuenca alta del Bermejo. La imagen que se obtiene no es muy diferente de la presentada anteriormente. Si acaso, el crecimiento de los indicadores es algo mayor a esta escala.

3.1.2. Lagunas de la Pampa húmeda.

Naturaleza del entorno y de las lagunas.

Se han realizado estimaciones de las tasas de sedimentación en una serie de lagunas someras de la Pampa húmeda, a partir de las sucesiones sedimentarias en las mismas, con el fin de determinar si se detectan aumentos en tiempos recientes.

Para ello, se ha seleccionado una zona de estudio que se ubica al SE del Conurbano Bonaerense (Fig. RP.15), en la cual se han diferenciado dos grandes ambientes (Frenguelli 1950, Fidalgo & Martínez, 1983; Fidalgo et al., 1991; Cavallotto 2002): una llanura costera baja y con amplias zonas encharcadas, cubierta por sedimentos fluvio-estuarinos depositados durante las sucesivas transgresiones y regresiones del Pleistoceno superior – Holoceno, y una zona continental, a partir de aproximadamente 5 m de altitud, con sedimentos de origen eólico y fluvial. El relieve es muy suave, con altitudes que no superan 50 m y gradientes a menudo $<0.5\%$, por lo que el agua se acumula con frecuencia en las numerosas zonas bajas y mal drenadas que existen, muchas de ellas depresiones de sobre-excavación eólica. Las lagunas que se describen aquí se sitúan en la zona continental (Fig. RP.16).

El clima es templado-húmedo, con precipitaciones anuales de 900-1200 mm. Los usos del territorio son fundamentalmente cultivos de distintos tipos y pasturas, siendo muy limitadas las zonas que conservan vegetación más o menos natural (prácticamente solo a lo largo de parte de los márgenes del Río de la Plata). Es también importante el área afectada por usos urbanos y relacionados, debido a la presencia de la gran conurbación de Buenos Aires.

La zona presenta un basamento precámbrico-paleozoico, cubierto por una acumulación sedimentaria mioceno-cuaternaria de 250-1500 m de espesor. En su parte superior está constituida por las formaciones loésicas Buenos Aires y Ensenada (el “Pampeano”, depositado entre 700.000 y 10.000 BP; Iriondo, 2010), sobre las que se sitúan los sedimentos eólicos y fluviales del Post-Pampeano. La alternancia de períodos secos y húmedos durante el Holoceno, dio lugar a episodios de erosión y sedimentación que afectaron al techo de la sucesión anterior. En concreto, hubo un periodo húmedo anterior a la Pequeña Edad de Hielo, entre aproximadamente 1400 y 700 BP (Iriondo y García 1993; Iriondo 1999), durante el cual se inició la acumulación de sedimentos en las lagunas que aquí se analizan, acumulación que, naturalmente, continúa en la actualidad. En varias de estas lagunas se han obtenido las sucesiones sedimentarias y se han estimado o determinado tasas para los periodos más recientes.

En la Pampa húmeda hay varios miles de lagos y zonas intermitentemente encharcadas (“bañados” en la terminología local; Fig. RP.16). Según Dangavs (2005), en la Provincia de Buenos Aires hay unos 140.000 lagos con extensiones entre 0,01 y 10 ha, y más de 10.000 con extensiones >10 ha, estimando la superficie total cubierta en casi 3200

km². No hay datos precisos sobre el número y extensión de los bañados, pero el reconocimiento (no sistemático) realizado para este trabajo ha puesto de manifiesto que presentan un número y extensión probablemente similares a los de los lagos.

Una secuencia sedimentaria sintética de la zona se muestra en la figura RP.17 (Forte et al., 2016). El primer depósito sobre las formaciones Buenos Aires y Ensenada son los limos arenosos fluvio-lacustres de la Formación Luján, Miembro La Chumbiada (Dillon y Rabassa, 1985), a la que se ha atribuido una edad de >28.000 BP. Sigue una unidad de pellets arcillosos verdosos floculados alrededor de granos de arena finos (Formación La Postrera I; Dangavs, 1979), interpretados como depósitos eólicos de un periodo frío y seco entre 28.000 y 18.000 BP. Encima se encuentran arenas y limos verde-amarillentos con yesos (Formación Luján, miembro Lobos; Dangavs y Blasi, 2003), depositados en aguas dulces o salobres durante un periodo más húmedo y cálido de 18.000-8.500 BP. En algunos lugares, pero no en todos, aparece otro depósito eólico originado en un periodo seco y frío (La Postrera II). El siguiente nivel son sedimentos arcillosos grisáceos con abundantes restos fósiles de organismos de agua dulce y cenizas volcánicas, el miembro Salado de la Formación Luján (Fidalgo et al., 1973; equivalente al Platense de Ameghino, 1884), atribuido a un periodo húmedo y cálido de 8500 – 3500 BP. Sobre este nivel suele aparecer, aunque no siempre está presente, una unidad de arenas finas, limos y arcillas de color gris, que corresponde al Subaluvial (Doering, 1884) o Aimarense (Ameghino, 1889), depositado durante un periodo húmedo y cálido, 1400 – 700 BP. En algunos casos se encuentra un depósito eólico pardo-grisáceo, parcialmente afectado por procesos de edafización y en ocasiones mezclado con el nivel anterior, que se ha interpretado como formado durante el periodo seco y cálido de la Pequeña Edad de Hielo (Formación La Postrera IV; Dangavs, 2005). El último nivel está constituido por los depósitos posteriores a la PEH y a la ocupación del territorio por parte de la población de origen europeo. Es la Formación Aluvial (Valentín, 1898), cuyo inicio se ha situado por distintos autores entre 300 y 150 BP (Villalba, 1990, 1994; Thompson et al., 2003; Bertranda et al., 2005; Araneda et al., 2007; Meyer and Wagner 2009). Los sedimentos que se siguen acumulando en esta unidad proceden de dos fuentes principales, polvo fino acarreado por el viento a partir de fuentes lejanas, y arcillas, limos y materia orgánica procedentes de la erosión hídrica del suelo (sobre todo el horizonte A) en la cuenca de las lagunas. Esta última fuente, como es natural, está muy afectada por la actividad humana en la zona. La acumulación de sedimento causa una reducción de profundidad en las lagunas y favorece el enraizamiento de la

vegetación, de modo que se van colmatando y transformándose gradualmente en bañados.

Esta paulatina colmatación representa la pérdida de un importante recurso ambiental de la zona. Las lagunas son ampliamente utilizadas para la pesca, la recolección de carrizo, el recreo y el turismo. Además, cumplen un destacado papel en la amortiguación de las inundaciones. Esa pérdida de servicios ambientales proporcionados por las lagunas se une a otro problema ambiental independiente pero relacionado, la pérdida de suelos de alta calidad por su explotación minera para la fabricación de ladrillos. La industria ladrillera extrae el horizonte A del suelo para la elaboración de ladrillos macizos tradicionales, y el horizonte B (sobre todo Bt) para ladrillos huecos de máquina. La mayoría de las explotaciones se hacen en argiudols, hapludols y hapluderts, que presentan las mejores propiedades para la industria. Desgraciadamente, esos suelos son también los de mayor capacidad de uso y productividad desde el punto de vista agrícola (INTA, 1990; Giménez et al, 1992; Hurtado et al, 2004, 2006 a, b; Hurtado, 2015), por lo que la minería de suelos está causando una importante e irreversible pérdida de otro valioso recurso.

Con el fin de evaluar la posibilidad de utilizar los sedimentos de las lagunas como materia prima alternativa al suelo por parte de la industria ladrillera, se abordó el análisis de la naturaleza y propiedades de los mismos, así como una determinación de sus tasas de acumulación (Forte et al., 2016). En concreto, se trató de determinar si se apreciaban diferencias significativas entre las tasas de sedimentación durante los dos periodos más recientes identificados en la sucesión descrita, el Subaluvial y el Aluvial, así como entre este periodo y los tiempos más recientes.

Selección de lagunas y obtención de las secuencias sedimentarias.

Las sucesiones sedimentarias en las lagunas se obtuvieron, de una parte, a partir de la literatura y, de otra parte, por medio de la extracción de testigos en lagunas seleccionadas sobre la base de lo anterior, análisis de imágenes de satélite y reconocimientos sobre el terreno. Las fuentes de las que se obtuvo información incluyen: Doering, 1884; Ameghino, 1889, 1884; Valentín, 1898; Frenguelli, 1957; Fidalgo et al., 1975; Dangavs, 1979; Riggi et al., 1986; Dangavs y Merlo, 1994; Dangavs y Blassi 1994, Iriondo y Kröhling, 1995; Dangavs y Merlo, 1997; Dangavs y Blassi 2002, 2003; Dangavs et al., 2006; Dangavs, 2008, Dangavs y Reynaldi, 2008;

Dangavs, 2009a, 2009b, 2009c; Dangavs, 2010; Dangavs y Mormeneo, 2012; Dangavs y Pierrard, 2013.

La profundidad máxima en estas lagunas prácticamente nunca supera 1,5 m, siendo en la mayoría de los casos <1 m. El espesor conjunto de los niveles objeto de interés, el Subaluvial (Doering 1884) y el Aluvial (Ameghino 1884, 1889; Valentín 1898), es por término medio de unos 60 cm, no sobrepasando 1,5 m. Los sedimentos de niveles inferiores corresponden a formaciones de origen fluvial, fluviomarino o eólico, no relacionadas con la sedimentación en las lagunas objeto de interés (formaciones Luján, La Postrera, Ensenada y Buenos Aires; Frenguelli, 1957; Fidalgo et al., 1975; Riggi et al., 1986; Iriondo y Kröhling, 1995).

Para estimar las tasas de sedimentación se utilizaron dos tipos de datos. Por una parte, se determinó el espesor promedio del Subaluvial y el Aluvial, y se calcularon las tasas promedio para dichos periodos basándose en las edades obtenidas de la literatura antes indicada. Por otro lado, se estimaron las tasas de sedimentación recientes a partir de datos o estimaciones de las tasas de erosión en la región, también obtenidas de la literatura. Finalmente, estas tasas se comprobaron con información independiente procedente de un sondeo realizado al efecto en un arroyo que drena varias lagunas, y que proporciona una edad y tasa de sedimentación contrastadas. También, con la extracción y datación de un nuevo testigo.

Resultados y discusión.

En la figura RP.18, se presentan las sucesiones sedimentarias obtenidas en algunas lagunas. En la Tabla RP.5 se presentan los datos sobre extensión de las lagunas y de sus cuencas y de espesor de Subaluvial y Aluvial.

Según se ha descrito en la literatura (Dangavs y Merlo, 1997, 1994; Dangavs y Reynaldi, 2008; Dangavs y Mormeneo, 2012; Dangavs y Pierrard, 2013) y se ha confirmado por medio de las observaciones realizadas en la zona, varias lagunas se han colmatado de manera notable en tiempos recientes, pasando en algunos casos a convertirse en bañados. Por ejemplo, Laguna Chica y Laguna Espadaña de Pérez se han colmatado completamente (Fig. RP.16). Otras, tales como Quinteros, Monte, Las Perdices, Adela, Cerrillo del Medio, Tacurú, La Bellaca y San Vicente (Fig. RP.19), están en una fase avanzada de relleno. Esto es, dichas

observaciones indican que las tasas de sedimentación recientes y actuales son altas.

El espesor promedio del Subaluvial, a partir de los datos presentados anteriormente, es de 56 cm y el del Aluvial 48 cm. Considerando unos periodos de acumulación de 700 años para el primero ((Dillon y Rabassa, 1985; Iriondo y García 1993; Iriondo 1999), y de 200 años para el segundo, se obtienen tasas de sedimentación promedio aproximadas de 0,8 mm/año y 2,4 mm/año, respectivamente. Algunos autores han indicado que el final de la Pequeña Edad de Hielo en la zona (e inicio de la sedimentación del Aluvial en las lagunas) tuvo lugar hace unos 300 años (Villalba, 1990, 1994; Thompson et al., 2003; Bertranda et al., 2005; Araneda et al., 2007; Meyer and Wagner 2009). De ser eso correcto, la tasa de sedimentación promedio para ese periodo sería de 1,8 mm/año, incluyendo en este caso una parte inicial del lapso considerado sin influencia humana significativa, y tasas presumiblemente más bajas. Esto es, el factor de aumento con respecto al periodo inmediatamente anterior sería de 2,5-3.

Las tasas de sedimentación recientes/actuales se han estimado a partir de las tasas de erosión y generación de sedimento en las cuencas de las lagunas (Tabla RP.6). Las tasas de erosión en zonas de cultivos y pasturas con gradientes $< 0,5^\circ$ son del orden de 1-1,5 mm/año (Michelena et al, 1988; 1991; Bujan et al., 2003; Frank y Viglizzo, 2010; Kraemer et al., 2013) y de unos 0,3 mm/año en zonas totalmente planas con vegetación natural o pasturas poco intensivas (Michelena, 2014). La erosión potencial se ha estimado en 0,3-3,7 mm/año, dependiendo de las condiciones locales, así como del manejo de las tierras (Michelena 2014, y comunicación personal, 2016). Dado que el valor inferior corresponde a condiciones muy poco frecuentes, el límite inferior (y el promedio) de la erosión real debe ser más alto. Por tanto, la generación de sedimento en las condiciones actuales se puede estimar entre 300 y 3700 $\text{m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Tomando como base estos datos se han calculado las tasas de sedimentación para una serie de lagos, cuyas cuencas se han podido determinar con fiabilidad, lo que no siempre es posible en la zona, debido a lo extremadamente bajo de los gradientes. Los resultados se resumen en la Tabla RP.7. Según se aprecia, las estimaciones arrojan valores que oscilan entre aproximadamente 1 y 140 mm/año, siendo el valor promedio de unos 30 mm/año.

Podemos admitir como una primera aproximación los valores anteriores (con la debida cautela, pues existen una serie de

incertidumbres). Tendríamos así que las tasas de sedimentación se habrían multiplicado aproximadamente por 3 al pasar de una situación sin presencia humana significativa desde el punto de vista de la transformación del territorio (Subaluvial), a otra caracterizada por la progresiva extensión e intensificación de actividades agrícolas y de expansión urbana (el conjunto del Aluvial, hasta nuestros días). En la fase final de ese periodo (la actualidad) las tasas se habrían multiplicado por aproximadamente 10 en comparación con el conjunto del mismo.

Naturalmente, es más que deseable disponer de alguna comprobación de lo anterior sobre la base de datos independientes. Para obtenerla, se acudió a la realización de un sondeo en un lugar en el que se conoce con absoluta certeza la fecha de inicio de la sedimentación. Dicho lugar es el Arroyo San Vicente (Fig. RP.19), que desagua las lagunas encadenadas de Tacurú, La Bellaca y San Vicente. Con el fin de aumentar el flujo en el mismo, el arroyo se rectificó en parte y se dragó en 2003, eliminando todo el sedimento situado por encima del Pampeano, nivel fácilmente identificable por su color rojizo y alto grado de compactación. En mayo de 2015 se procedió a extraer un testigo de sondeo (Fig. RP.20 a, b). Según se muestra en la fotografía, el espesor de sedimento acumulado en 12 años fue de 17 cm, lo que equivale a unos 14 mm/año. En la Tabla RP.7 se puede ver que las tasas de sedimentación estimadas para la laguna Tacurú, son 10-135 mm/año. Esto es, la sedimentación en el arroyo está dentro de la horquilla citada.

Ahora bien, es importante señalar que Tacurú es la primera de las tres lagunas encadenadas, y que las tres son de aguas someras y tranquilas y presentan abundante vegetación. Es por tanto más que razonable pensar que la mayor parte del sedimento debe quedar retenido en las lagunas, especialmente en la primera de ellas, y que solo una pequeña proporción de dicho sedimento llegará al desagüe. Además, al estar el punto de muestreo en un canal, es también de esperar que parte del sedimento que lleven las aguas al salir de la última laguna sea arrastrado aguas abajo, sin depositarse en ese punto. Teniendo en cuenta el razonamiento anterior, se puede concluir que la sedimentación actual en la laguna de Tacurú debe ser bastante más alta que en el punto de muestreo, y que no sería sorprendente que la horquilla de la Tabla RP.7 representara una subestimación.

A fin de complementar los resultados anteriores, se extrajo y dató un nuevo sondeo, en la Cañada de Almada, que es parte del complejo de San Vicente. En las figuras RP.21-26 se presentan los resultados obtenidos.

Los análisis se han realizado por parte de Mario Alonso y Ángel Mañanes (Depto. de Física Moderna, Universidad de Cantabria). Los procedimientos analíticos utilizados se han descrito en trabajos anteriores (Gelen et al, 2004; Soto et al., 2006; Cearreta et al., 2008; Irabien et al, 2008 a, b; Bruschi et al., 2008; Bonachea et al., 2010; Alonso González, 2015; Alonso et al, 2015). En la figura RP.21 se muestran los resultados de las determinaciones de la actividad correspondiente a los distintos isótopos. Es de destacar la presencia de dos marcados picos correspondientes a la actividad debida a Th-234 (63 y 92 keV). La alta actividad se manifiesta de manera muy similar a partir de tres picos diferentes (figura RP.22). Esos picos representan una anomalía que indica la introducción en el sedimento de Uranio con la composición isotópica natural, pero no procedente de fuentes naturales. Esto es, a esa profundidad (en esa fecha) hubo una “inyección” de U de origen artificial, cuyo origen no podemos determinar. Para comprobar esa posible “inyección” se simuló la introducción de U con un pico hacia 1960 (figura RP. 23 a), a partir de la cual se simuló la actividad correspondiente que se comparó con los resultados experimentales (figura RP. 23 b). Se aprecia una notable coincidencia. Esto, junto con la ausencia de isótopos que en la naturaleza acompañan al U (p. ej. Ra), hace que se descarte un origen natural de la citada inyección.

La única posible fuente del U encontrado de la que tengamos conocimiento es el Centro Atómico Ezeiza, inaugurado en la década de 1960, donde la empresa CONUAR SA, comenzó a principios de los ochenta la producción de uranio enriquecido. Este centro se encuentra a unos 20 km de las lagunas encadenadas de San Vicente. Si bien se encuentra comprendido dentro de la cuenca del río Matanza, su proximidad a la divisoria de aguas entre las cuencas de los ríos Matanza y Samborombón y las extremadamente planas pendientes, hacen posible el transvase de los excedentes hídricos a través de canalizaciones artificiales. No existía a la fecha otra fuente de procedencia de materiales radioactivos que conociéramos, ni tampoco había normas específicas para la gestión de este tipo de residuos. Es por tanto muy probable que esta sea la procedencia del uranio encontrado en los sedimentos de la Cañada de Almada, ya que se trata de una zona de derrame del arroyo San Vicente.

En la figura RP.24, se presenta la distribución de Pb-210 en exceso, a las distintas profundidades, así como la simulación numérica (modelo de difusión) que se ajusta a las determinaciones. Se señala, al igual que en la figura anterior, la falta del dato correspondiente a la muestra N° 2 (2 cm de profundidad) por pérdida de la misma durante el proceso de tratamiento.

La falta de ese dato introduce incertidumbre en los resultados para el periodo más reciente. Igualmente se hace notar que a partir de unos 15 cm de profundidad no hay plomo en exceso, por lo que el método no es aplicable a la determinación de edades por debajo de dicha profundidad. La figura RP.25 es el resultado de la aplicación del Modelo CRS para obtener las edades de las muestras correspondientes a las distintas profundidades. Se observa que a partir de 15 cm (unos 60 años de edad), hay una variación ligera con la profundidad y un aumento del error en el dato. Las edades a partir de ese punto no son significativas, por la ya indicada falta de Pb-210 en exceso. A partir de los datos anteriores, se han obtenido las tasas de sedimentación a distintas profundidades (edades), representadas en la figura RP.26. La ya mencionada falta del dato correspondiente a la muestra N° 2, así como la ausencia de Pb-210 en exceso por debajo de 15 cm, introducen bastante incertidumbre, como revelan las barras de error (calculadas para $\pm 1\sigma$). Además, si el origen del uranio introducido fuera realmente el Centro Atómico Ezeiza, habría una contradicción entre la edad obtenida a través de la aplicación del modelo CRS y la posible fecha de entrada de la contaminación procedente de aquel.

Aceptando por tanto con muchas reservas los resultados que se muestran, tendríamos un ligero aumento de las tasas de sedimentación a partir de aproximadamente 1980, seguido de una disminución hacia fin de siglo (esta muy cuestionable, por la falta de la muestra N° 2). En conjunto, los resultados proporcionados por este sondeo apuntan a un posible incremento de las tasas de sedimentación en el último cuarto del pasado siglo, pero no ofrecen suficiente seguridad.

Con los datos presentados, se puede concluir inicialmente (a falta de ulteriores comprobaciones) que en esta región las tasas de sedimentación en los últimos años/décadas son, al menos, un orden de magnitud superiores a las del Aluvial, y estas, a su vez, aproximadamente el triple que las del Subaluvial. Los aumentos indicados con toda probabilidad se explican por la creciente modificación de la superficie terrestre por actividades humanas (Walling, 2006; Tarolli y Sofia, 2016), que da lugar a un acelerado cambio geomorfológico. Dado que en la región continua el aumento de la población y de la intensidad y extensión de las actividades humanas, es muy probable que en el futuro próximo las tendencias indicadas se acentúen.

Estos resultados son coherentes con la idea de una “gran aceleración geomorfológica” (Bruschi et al., 2012 2013a, b) que se inicia hacia mitad

del siglo XX, coincidiendo con la “Great Acceleration” (Steffen et al., 2011) y que puede representar uno de los rasgos que caracterizan el Antropoceno (Cendrero et al, 2011; Steffen et al., 2015; Waters et al., 2016; Forte et al., 2016). Caso de confirmarse lo anterior, las décadas (¿o siglos?) venideras estarían marcados por una creciente intensidad de los procesos geológicos superficiales, y de sus consecuencias.

Tabla RP.1. Extensión (km²) de las distintas sub-cuencas dentro de la Cuenca del Río de la Plata (datos de Coronel & Menéndez, 2006), así como datos de población y PBI para los países que lo integran (datos de ECLAC (www.eclac.org)). Se presentan los valores totales y los porcentajes. Se señala que: >90% PBI corresponde a Brasil+Argentina; >70% del PBI de los países se genera dentro de la cuenca; >70% del PBI de Brasil+Argentina corresponde a la cuenca.

	Paraná	Paraguay	Uruguay	R. Plata	Área de la cuenca en el país	Población en cuenca x10 ⁶	Población del país (% en cuenca)	PBI en la cuenca x10 ⁶ US\$	PBI total x10 ⁶ US\$ (% en cuenca)
Argentina	565,000 37.5%	165,000 15.0%	60,000 16.4%		920,000 29.7%	29.10 25.3%	36.26 80%	234,868 33.2%	271,809 86.4%
Bolivia		205,000 18.7%			205,000 6.6%	3.66 3.2%	8.3 44%	9,414 1.3%	21,343 44.1%
Brasil	890,000 59.0%	370,000 33.9%	155,000 42.5%		1,415,000 45.7%	73.78 64.4%	169.80 43.5%	409,934 58.0%	644,476 63.6%
Paraguay	55,000 3.5%	355,000 32.4%			410,000 13.2%	5.18 4.5%	5.18 100%	28,799 4.1%	28,799 100%
Uruguay			150,000 41.1%		150,000 4.8%	3.0 ^b 2.6% ^a	3.24 92% ^b	23,642 3.4%	35,744 92%
Total	1,510,000 48.7%	1,095,000 35.3%	365,000 11.8%	130,000 4.2%	3,100,000 100%	114.84 100%	222.78 51.5%	706,657 100%	992,172 71.2%

Tabla RP.2. Características de las zonas de estudio.

Nombre	Área (km ²)	Altitud (m)	Precipitación (mm a ⁻¹)	Población	Actividad humana en el último siglo
Laguna de Pozuelos	4000	3600 - 4808	350	< 3000	Casi nula; estabilidad
Barra Bonita	12,450	450-2060	1150-2000	¹ 4,258,000	Urbana/infraestructuras, aumento muy intenso
Pantanal	628,000	80 - 1000	1000-1400	² 5,293,790	Agr-ganadero/urbano crecimiento
Cuenca R.Plata	3.1 x 10 ⁶	0 - 5000	<50 ->4000	³ 113,191,000	Todos los sectores, crecimiento intenso

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

Tabla RP.3. Datos obtenidos en las zonas de estudio y periodos cubiertos en cada caso.

Zona de estudio	Cuenca R. Plata	Pozuelos	Barra Bonita	Pantanal
¹ Testigos de sondeo	3	2	2	3
Precipitación anual	1906-2007	1904-2007	1950-2002	1901-1995
² Frec. lluvias intensas	1903-2007	1904-2007	1950-2002	
Descarga fluvial	1904-2003		1936-2003	1901-1995
Frec. caudales intensos	³ 1904-2003		1936-2003	⁴ 1901-1995
Población	1900-2007	1702-2001	1950-2007	⁶ 1950-2001 ¹² 1910-2009
PBI	1900-2007		⁵ 1950-2000	⁶ 1950-2007
⁷ Consumo energía	1970-2007			
⁸ Consumo cemento	1960-2007			
Carga ganadera	⁹ 1960-2007	¹⁰ 1937-2004		¹² 1970-2006
Superficie cultivada	¹¹ 1960-2007		1960-2000	
Población urbana	1950-2001		1950-1991	⁶ 1950-2001

Notas:

1. Se indica el número de sondeos obtenidos. 2. Únicamente datos mensuales para los periodos indicados. 3. Descarga máxima y mínima diaria. 4. Nivel del río. 5. Para el estado de Sao Paulo. 6. Para los estados de Mato Grosso y Mato Grosso do Sul. 7. Consumo de energía secundaria, Brasil+Argentina. 8. Brasil+Argentina. 9. Brasil+Argentina. 10. Total para los departamentos incluidos en la cuenca. 11. Brasil+Argentina. 12. Sólo Mato Grosso do Sul.

Tabla RP.4. Factores de crecimiento de los impulsores humanos considerados en la Cuenca del Río de la Plata.

Periodo	Población	Población urbana	PBI	^d Sup. cultivada	^d Cabaña ganadera	^e Consumo de energía	^f Consumo de cemento
1900-2005	^a 10		^a 57				
1960-2005	^b 2.2	^b 3.7	^c 5	2.2	1.6		6.4
1970-2005	^b 1.8	^b 2.4	^c 3	1.7	1.4	3.6	3.1

Notas:

a: Datos para Argentina y Brasil (Historical Statistics for the World Economy, 2006; Angus Maddison). b: Provincias (Argentina) y estados (Brasil) en la cuenca; 1960-2001, datos de ECLAC (www.eclac.org). c: Brasil + Argentina (ECLAC e Historical Statistics for the World Economy, 2006; Angus Maddison). d: Brasil+Argentina; 1961-2005, datos de FAO (www.fao.org/corp/statistics). e: Consumo de energía secundaria, Brasil + Argentina; datos de ECLAC (www.eclac.org). f: Brasil+Argentina; datos proporcionados por la “Asociación de Fabricantes de Cemento Portland de Argentina” (Anuario Estadístico 2007) y la Associação Brasileira de Cimento Portland (<http://www.abcp.org.br>).

Tabla RP.5. Lagunas, bañados y sectores fluviales en los que se han realizado tomas de muestras y granulometría (A) o estimaciones de las tasas de sedimentación (E). Los números de las lagunas se corresponden con los de la figura RP.16. Modificado a partir de Forte et al. (2016).

Lago/bañado/río y (N°)	Determinaciones	Area (ha)	Area Cuenca (ha)	Espesor Aluvial (m)	Espesor Subaluvial (m)
Laguna de Gómez (2)	A	5,200	-	-	-
Laguna del Carpincho (3)	A	425	-	-	-
Rio Salado (aguas arriba Laguna Carpincho; 4)	A	-	-	-	-
Laguna Tacurú (9)	A, E	156	14,530	0.5	0.7
Laguna La Bellaca (10)	A, E	65		0.5	0.7
Laguna San Vicente (11)	A, E	178		0.6	0.7
Arroyo San Vicente (aguas abajo Laguna S. Vicente; 12)	A	-	-	-	-
Laguna Vitel (49)	A, E	1,470	51,700	0.6	0.6
Arroyo Vitel (50)	A	-	-	-	-
Laguna Chascomús (51)	A	3,012	-	-	-
Laguna Manantiales (57)	A	-	-	-	-
Laguna Del Burro (56)	A, E	1,005	9,900	0.5	0.3
Laguna Adela (55)	A, E	2,085	8,900	0.5	0.7
Laguna Chis Chis (58)	A	1,470	-	0.4	0.5
Laguna La Salada (66)	A	-	-	-	-
Laguna San Juan de la Leña (43)	E	238	2,131	0.4	0.7
Laguna Espadaña de Pérez (45)	E	290		0.4	0.7
Laguna Chica (44)	E	75		0.4	0.7
Laguna Gildañez (42)	E	297	9,019	0.4	0.7
Laguna Quinteros (37)	E	330		0.3	0.4
Laguna del Medio (39)	E	546		0.65	0.63
Laguna Esquivel (41)	E	2,453	9,019	0.65	0.63
Laguna El Espartillar (38)	E	1,252		0.65	0.63

Bañado La Yalca (67)	A	879	-	1	*
Bañado La Libertad (68)	A	348	-	1	*
Bañado Don Mario (69)	A	606	-	1	*
Bañado La Eloísa (72)	A	756	-	1	*
Bañado San Juan de María (71)	A	814	-	1	*
Bañado Miraflores (70)	A	630	-	1	*
Laguna Las Perdices N (18)	A	825	-	0.45	0.45
Río Salado (aguas arriba Ruta Nacional 3; 26)	A	-	-	-	-
Río Salado (aguas abajo Gral. Belgrano; 46)	A	-	-	-	-
Río Salado (aguas abajo Gral. Belgrano; 47)	A	-	-	-	-
Río Salado (aguas abajo Gral. Belgrano; 48)	A	-	-	-	-

Tabla RP.6. Datos de determinaciones y estimaciones de tasas de erosión en la Pampa. Las referencias que se presentan incluyen observaciones, medidas o estimaciones (USLE y RUSLE) de los autores y de trabajos previos (1) Michelena et al, 1988. (2) Michelena, 2014. (3) Kraemer et al., 2013. (4) Michelena et al., 1991.

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref .
					Actual	Potencial	
Hapludol típico	Agricultura	Pampa Ondulada	N Buenos Aires	<0.5	1.42	3.84	(1)
Argiudol típico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada		<0.5	1.07	3.44	(1)
Argiudol típico	Agr./ganadería			<0.5	1.06	3.44	(1)
Argiudol típico	Agr./ganadería			<0.5	1.27	4.08	(1)
Argiudol típico	Agricultura	Pampa Ondulada		<0.5	1.5	4.1	(1)
Argiudol vértico	Agricultura	Pampa Ondulada		<0.5	1.35	3.75	(1)
Argiudol Vértico	Agricultura	Pampa Ondulada		<0.5	1.35	3.75	(1)
Hapludol vértico	Ganadería extensiva/sin uso	Pampa Deprimida	Centro/Este Buenos Aires	<0.5	0.3	< 1	(2)
Argiudol vértico	Agricultura	Pampa Ondulada	N Buenos Aires	2-0.5	1-5	¿?	(3)
Natracualf vértico	Agr./ganadería						
Argiudol vértico	Agricultura				2-0.5	1-5	¿?
Natralbol vértico	Agr./ganadería						
Natracualf vértico							

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref .
					Actual	Potencial	
Argiudol vértico Argiudol vértico Natrabol vértico Natracualf vértico	Agricultura Agr./ganadería	Pampa Ondulada	N y Centro/N Buenos Aires	2-0.5	1-5	¿?	(3)
Argiudol Vértico Argiudol Típico Hapludol Éntico Hapludol Tapto Árgico	Agricultura Agr./ganadería	Transición Pampa Ondulada/Pampa a Deprimida	Centro Buenos Aires	0-0,5	1-5	¿?	(3)
Aplustol Údico	Agricultura Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U1 Leones, Las Rosas S Santa Fe Córdoba	0-1	1.32	4.87	(4)
	Agricultura				1.84	5	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U2 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fe Córdoba	0-1	0.92	3.69	(4)
	Agricultura				1.51	4.15	
	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U3 Leones, Las Rosas S Santa Fe Córdoba	0-1	0.96	3.85	(4)
	Agricultura				1.53	4.2	

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref .
					Actual	Potencial	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica basin	U4 Corral de Bustos, Venado Tuerto Santa Fé Córdoba S Santa Fe	<0.25	0.9	3.92	(4)
	Agricultura				1.58	4.32	
	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U5 Pergamino N Buenos Aires	0-1	1.19	4.77	(4)
	Agricultura				1.75	4.87	
	Agr./ganadería		U6 Rojas, Arrecifes N Buenos Aires	1-2	2.36	9.46	(4)
	Agricultura				3.77	10.34	
	Agr./ganadería		U7 Rojas, Arrecifes N Buenos Aires	0-1	1.12	4.49	(4)
	Agricultura				1.79	4.91	
	Agricultura	Pampa Ondulada	U9 San Nicolás de los Arroyos, Ramallo N Buenos Aires	1-3	2.05	5.62	(4)
	Agricultura				4.32	11.83	
Argiudol Vértico							

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref .
					Actual	Potencial	
					1.24	4.95	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U10 San Nicolás de los Arroyos, Ramallo N Buenos Aires	0-1	1.88	5.14	(4)
	Agricultura		U11 San Nicolás de los Arroyos, Ramallo N Buenos Aires				
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U12 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	1-3	2.84	10.51	(4)
	Agricultura				3.99	10.94	
Haplustol Údico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U13 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	0-1	1	4	(4)
	Agricultura				1.66	4.56	
Haplustol Típico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U14 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	0-1	1	4.71	(4)
	Agricultura				1.72	4.21	
Haplustol Udorténtico	Agr./ganadería	Transición de Pampa	U14 Corral de	0-1	0.92	4	(4)

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref .
					Actual	Potencial	
	Agricultura	Ondulada a cuenca endorreica	Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba		1.71	4.69	
Haplustol Éntico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U15 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	0-1	0.9	3.62	(4)
	Agricultura				1.4	3.83	
Haplustol Udorténtico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U16 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	0-1	1.25	6.23	(4)
	Agricultura				1.94	7.01	
Haplustol Éntico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U17 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	0-1	0.95	4.15	(4)
	Agricultura				1.69	4.69	
Hapludol Típico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U18 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé	0-1	1	4	(4)
	Agricultura				1.6	4.5	

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref .
					Actual	Potencial	
Argiudol Típico	Agricultura Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U19 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	0-1	0.97	3.58	(4)
	Agricultura Agr./ganadería				1.49	4.09	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U20 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	0-1	1.25	4.65	(4)
	Agricultura				2.13	4.73	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U21 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé	0-1	1.24	4.59	(4)
	Agricultura				2.13	4.74	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U22 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	0-1	0.89	3.86	(4)
	Agricultura				1.59	4.36	
Hapludol Típico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U23 Rojas, Arrecifes	0-1	1.36	5.44	(4)

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref .
					Actual	Potencial	
Argiudol Típico	Agricultura	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	N Buenos Aires	0-1	2.2	6.03	(4)
	Agr./ganadería		U24 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba		1.06	3.95	
Argiudol Típico	Agricultura	Pampa Ondulada	U25 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba	0-1	1.49	40.9	(4)
	Agr./ganadería		U26 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba		1.18	4.37	
Argiudol Típico	Agricultura	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U27 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	0-1	1.68	4.62	(4)
	Agr./ganadería		U28 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba		2.08	7.71	
Argiudol Típico	Agricultura	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U29 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	1-3	2.97	8.15	(4)
	Agr./ganadería		U30 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba		2.8	11.22	
Argiudol Típico	Agricultura	Transición de Pampa Ondulada a cuenca endorreica	U31 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba	1-3	4.17	11.41	(4)
	Agr./ganadería		U32 Corral de Bustos, Venado Tuerto S Santa Fé Córdoba				

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref .
					Actual	Potencial	
Duracuales Árgicos	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U28 Pergamino N Buenos Aires	<0.5	1.05	4.23	(4)
	Agricultura				1.6	4.38	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U29 Cañada de Gómez S Santa Fé	0-1	1.41	5.64	(4)
	Agricultura				2.13	5.85	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U30 Cañada de Gómez S Santa Fé	<5	0.96	4.18	(4)
	Agricultura				1.71	4.70	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U31 Cañada de Gómez S Santa Fé	1-3	3.25	13.0	(4)
	Agricultura				5.02	13.73	
Argiudol Vértico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U32 Pergamino N Buenos Aires	0-1	1.67	6.67	(4)
	Agricultura				2.73	7.47	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U33 Pergamino N Buenos Aires	0-1	1.75	6.49	(4)
	Agricultura				3.32	7.37	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U34 Pergamino N Buenos Aires	1-3	4.3	17.20	(4)

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)			Ref .
					Actual	Potencial		
					7.13	19.53		
Argiudol Típico	Agricultura	Agr./ganadería	Aires	0-1	1.15	4.6	(4)	
	Agr./ganadería		U35 Pergamino N Buenos Aires		1.91	5.22		
Argiudol Típico	Agricultura	Agr./ganadería	U36 Pergamino N Buenos Aires	0-1	1.26	5.05	(4)	
	Agr./ganadería		U37 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba		2.05	5.61		
Argiudol Típico	Agricultura	Agr./ganadería	U38 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba	0-1	0.97	4.23	(4)	
	Agr./ganadería		U39 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba		1.71	4.68		
Argiudol Ácuico	Agricultura	Pampa Ondulada	U40 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba	0-1	1.56	6.26	(4)	
	Agr./ganadería		U41 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba		2.47	6.77		
Argiudol Típico	Agricultura	Pampa Ondulada	U42 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba	0-1	1.44	5.75	(4)	
	Agr./ganadería		U43 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba		2.19	6.01		
Argiudol Típico	Agricultura	Pampa Ondulada	U40 Leones, Las Rosas S Santa Fé Córdoba	1-3	3.46	13.86	(4)	

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref .
					Actual	Potencial	
Argiudol Vértico	Agricultura	Pampa Ondulada	Rosas S Santa Fé Córdoba	1-3	5.29	14.49	(4)
	Agricultura		U41 Pergamino N Buenos Aires		3.92	15.67	
Argiudol Típico	Agricultura	Pampa Ondulada	U42 Cañada de Gómez S Santa Fé	0-1	6.41	17.57	(4)
	Agricultura				1.68	6.21	
Argiudol Rendólico	Agricultura	Pampa Ondulada/Plano	U43 Paraná, Victoria SW Entre Ríos	3-10	2.34	6.41	(4)
	Agr./ganadería				3.66	14.66	
Argiudol Típico	Agricultura	Pampa Ondulada/Plano	U44 Paraná, Victoria SW Entre Ríos	1-3	5.8	15.68	(4)
	Agr./ganadería				3.23	12.92	
Argiudol Típico	Agricultura	Pampa Ondulada/Plano	U45 Paraná, Victoria SW Entre Ríos	1-3	3.3	13.20	(4)
	Agr./ganadería				5.2	14.06	
Argiudol Típico y Vértico	Agricultura	Pampa Ondulada/Plano	U46 Paraná, Victoria SW Entre Ríos	1-3	3.08	12.34	(4)
	Agr./ganadería				4.57	12.34	

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref .
					Actual	Potencial	
Argiudol Típico y Vértico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada/Plano	U47 Paraná, Victoria SW Entre Ríos	1-3	3.16	12.63	(4)
	Agricultura				4.88	13.20	
Argiudol Típico	Agr./ganadería	Pampa Ondulada	U48 Rojas, Arrecifes N Buenos Aires	0-1	1.24	4.96	(4)
	Agricultura				2.04	5.60	
Argiudol Típico	Agr./ganadería		U49 Rojas, Arrecifes N Buenos Aires	0-1	1.23	4.58	(4)
	Agricultura				1.81	4.96	
Argiudol Típico	Agricultura		U50 Rojas, Arrecifes N Buenos Aires	0-1	1.44	5.33	(4)
	Agricultura				2.06	5.64	
Argiudol Típico	Agricultura		U51 Rojas, Arrecifes N Buenos Aires	0-1	2.88	10.66	(4)
	Agricultura				4.2	11.29	
Argiudol Típico	Agr./ganadería		U52	1-3	2.2	8.8	(4)

Tipo de suelo	Uso	Ambiente	Localización	Gradiente (%)	Erosión estimada (mm a ⁻¹)		Ref.
					Actual	Potencial	
Argiudol Típico	Agricultura		Rojas, Arrecifes N Buenos Aires	1-3	3.4	9.33	(4)
			U53		3.69	14.76	
	Agr./ganadería Agricultura		Rojas, Arrecifes N Buenos Aires		5.74	15.73	
Typic Argiudol	Agr./ganadería Agricultura	Pampa Ondulada	U54	0-1	1.46	5.40	(4)
			Rojas, Arrecifes N Buenos Aires		2.05	5.62	

Pampa ondulada: Se extiende por el N-NE de la provincia de Buenos Aires, y parte de las provincias de Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos. Altitud prácticamente nunca >40 m, y pendiente en general <2%, excepcionalmente cerca del 5%. Buen drenaje en general.

Pampa deprimida: Presente en la Cuenca del Río Salado. Es extremadamente llana, con altitud <15 m, y pendiente siempre <1%, con frecuencia bastante menos. Malas condiciones de drenaje en general.

Tabla RP.7. Estimaciones de tasas de generación y acumulación de sedimento en varias cuencas/lagunas. El intervalo de valores de tasas de erosión considerado es 0.3-3.7 mm.a⁻¹. Las fuentes de información utilizadas se indican en la Tabla RP.6.

Laguna(N°)	Área cuenca (ha)	Área cubeta (ha)	Tasa sedimentación (max/min mm.a ⁻¹)	Volumen total (max/min 10 ³ m ³ .a ⁻¹)
Vitel (49)	51,700	1,470	143.7/11.7	2,112/172
Adela (55)	8,900	2,085	15.8/1.3	329/27
del Burro (56)	9,900	1,005	36.4/3	365.8/30.2
SJ de la Leña (43)	2,131	238	11.3/0.9	26.9/2.1
Espadaña de Pérez (45)		290		32.8/2.6
Chica (44)		75		8.5/0.7
Cildañez (42)	9,019	297	7.3/0.6	33.6/2.7
Quinteros (37)		330		24.1/2
del Medio (39)		546		39.9/3.3
Esquivel (41)		2,453		179.1/14.7
El Espartillar (38)	14,530	1,252	134.7/10.9	91.4/7.5
Tacurú (9)		156		210.1/17
La Bellaca (10)		65		87.6/7.1
San Vicente (11)		178		239.8/19.4

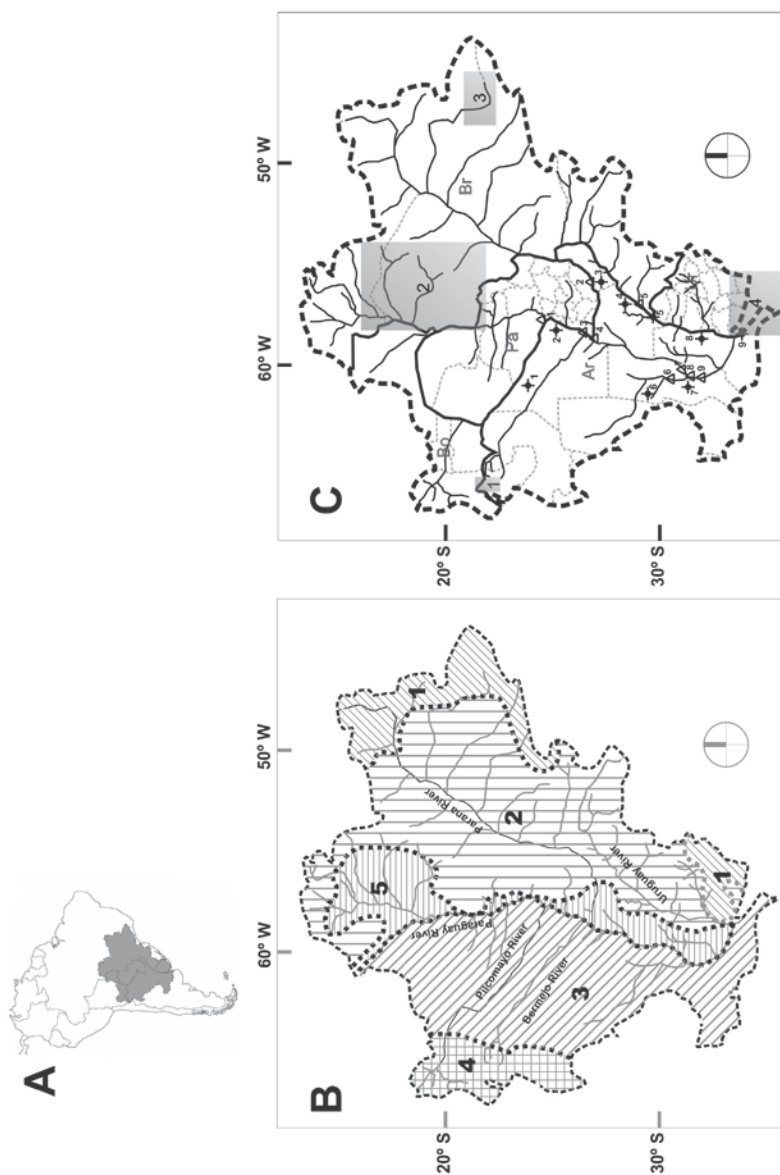


Figura RP.1. Cuenca del Río de la Plata. A) Esquema de situación. B) Principales unidades geológicas. C) Localización de las zonas de estudio (1: Laguna de Pozuelos; 2: Pantanal; 3: Barra Bonita; 4: estuario del río de la Plata; de Bonachea et al., 2010).

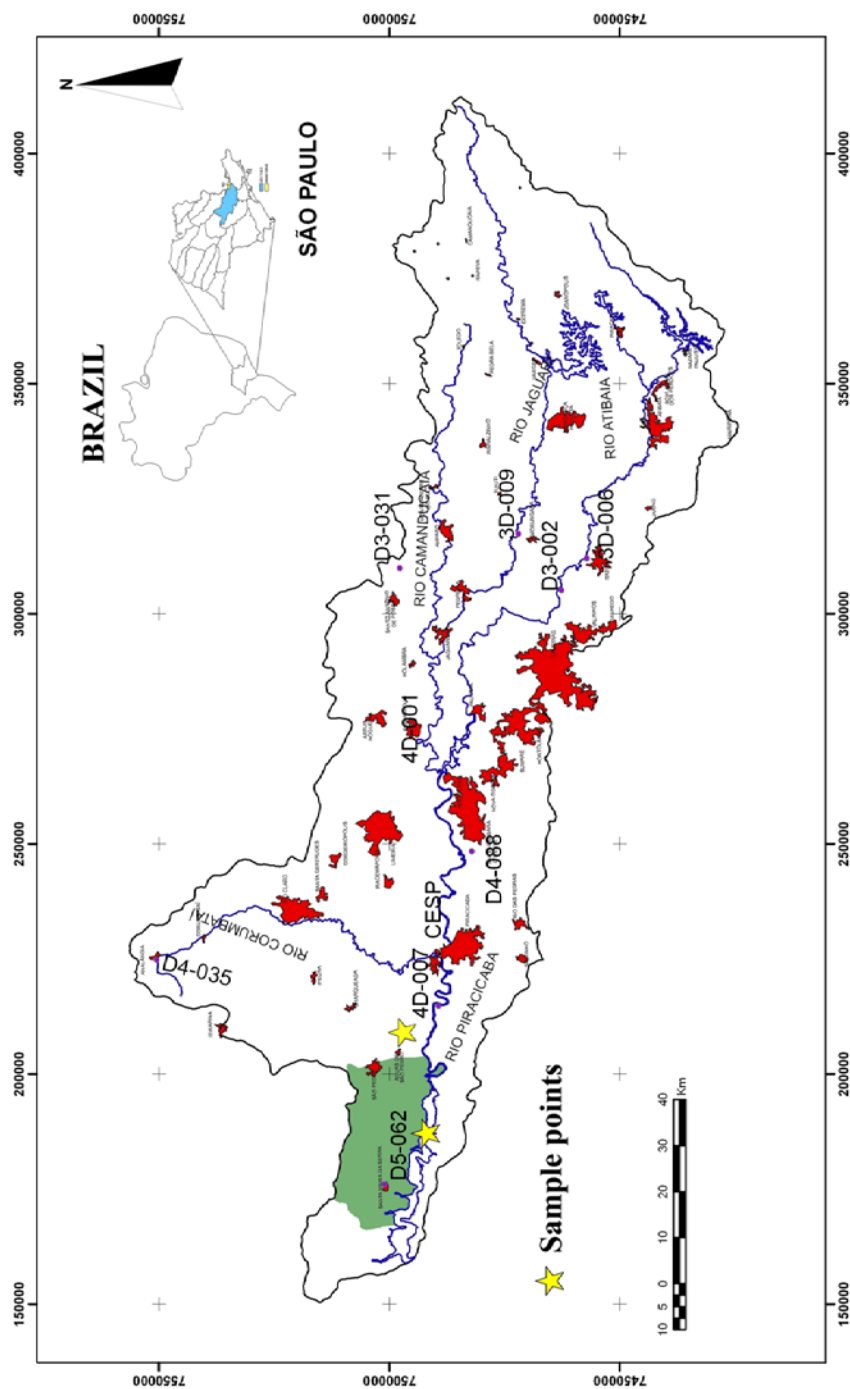


Figura RP.2. Mapa de la zona de Barra Bonita (de Bonachea et al., 2010).

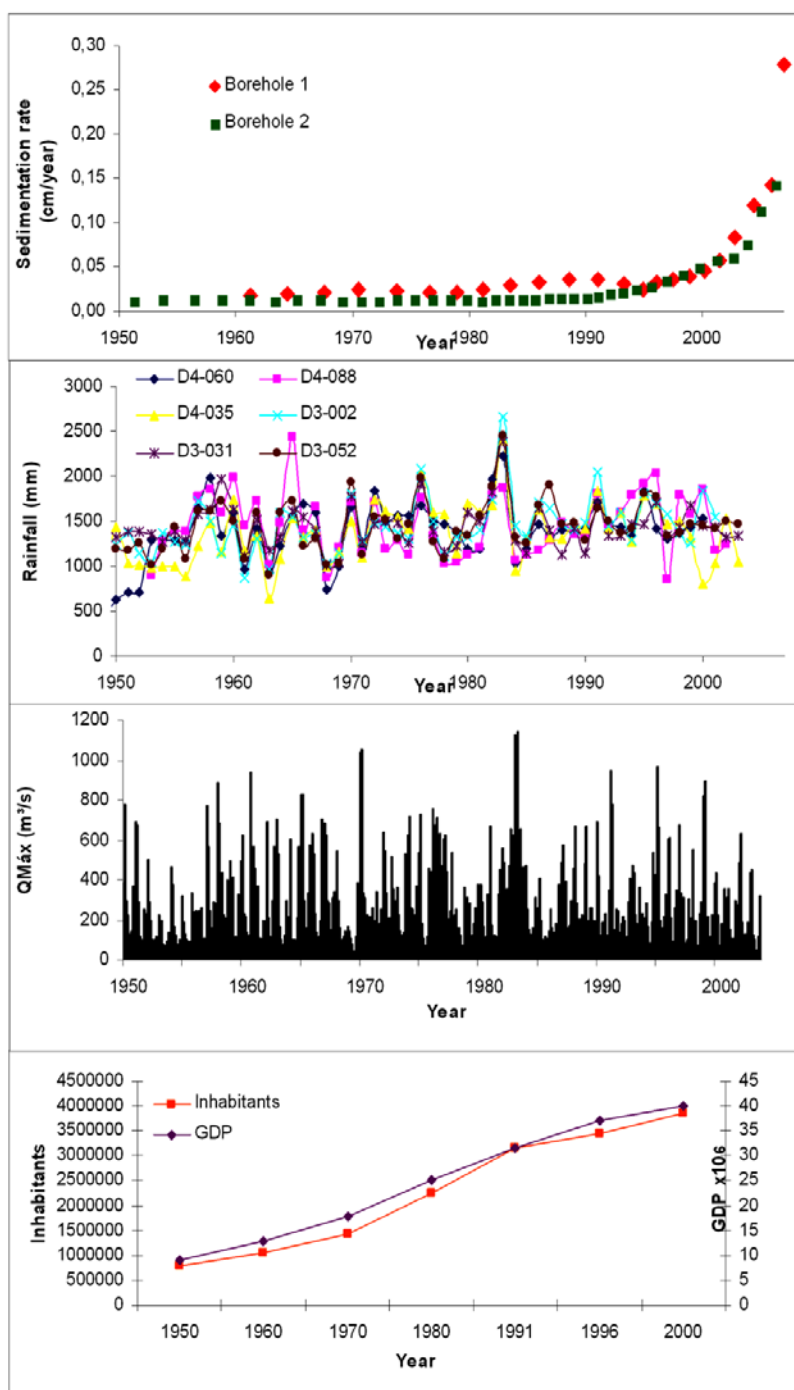


Figura RP.3. Resultados de Barra Bonita (de Bonachea et al., 2010).

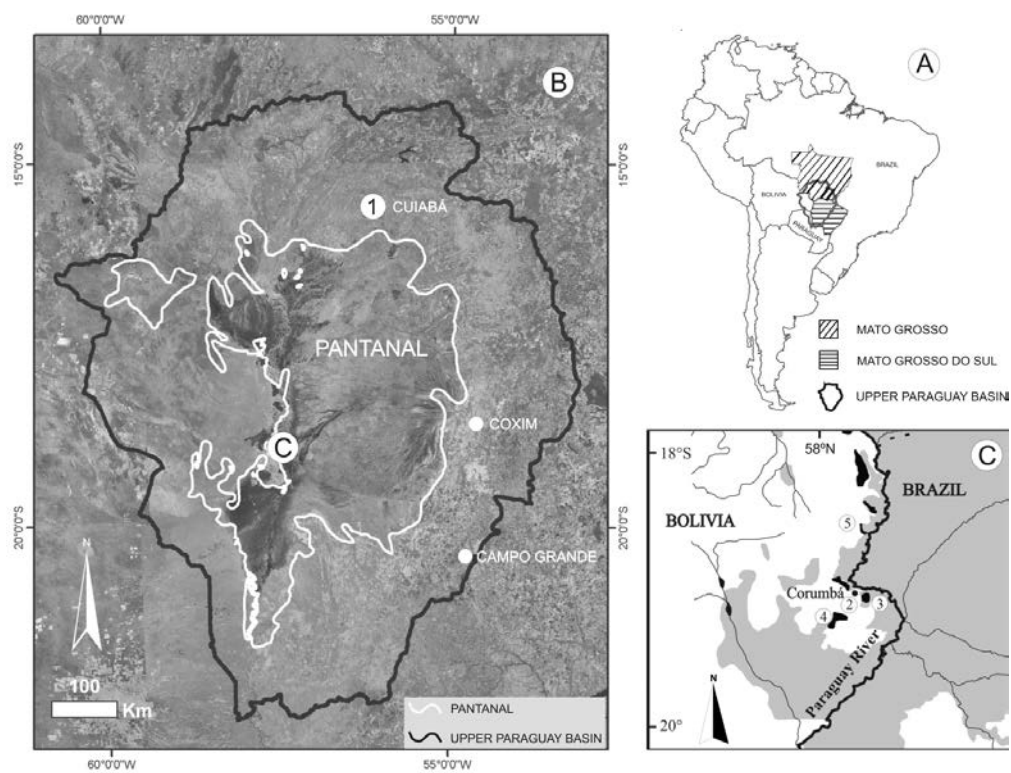


Figura RP.4. Mapa de la zona del Pantanal (de Bonachea et al., 2010).

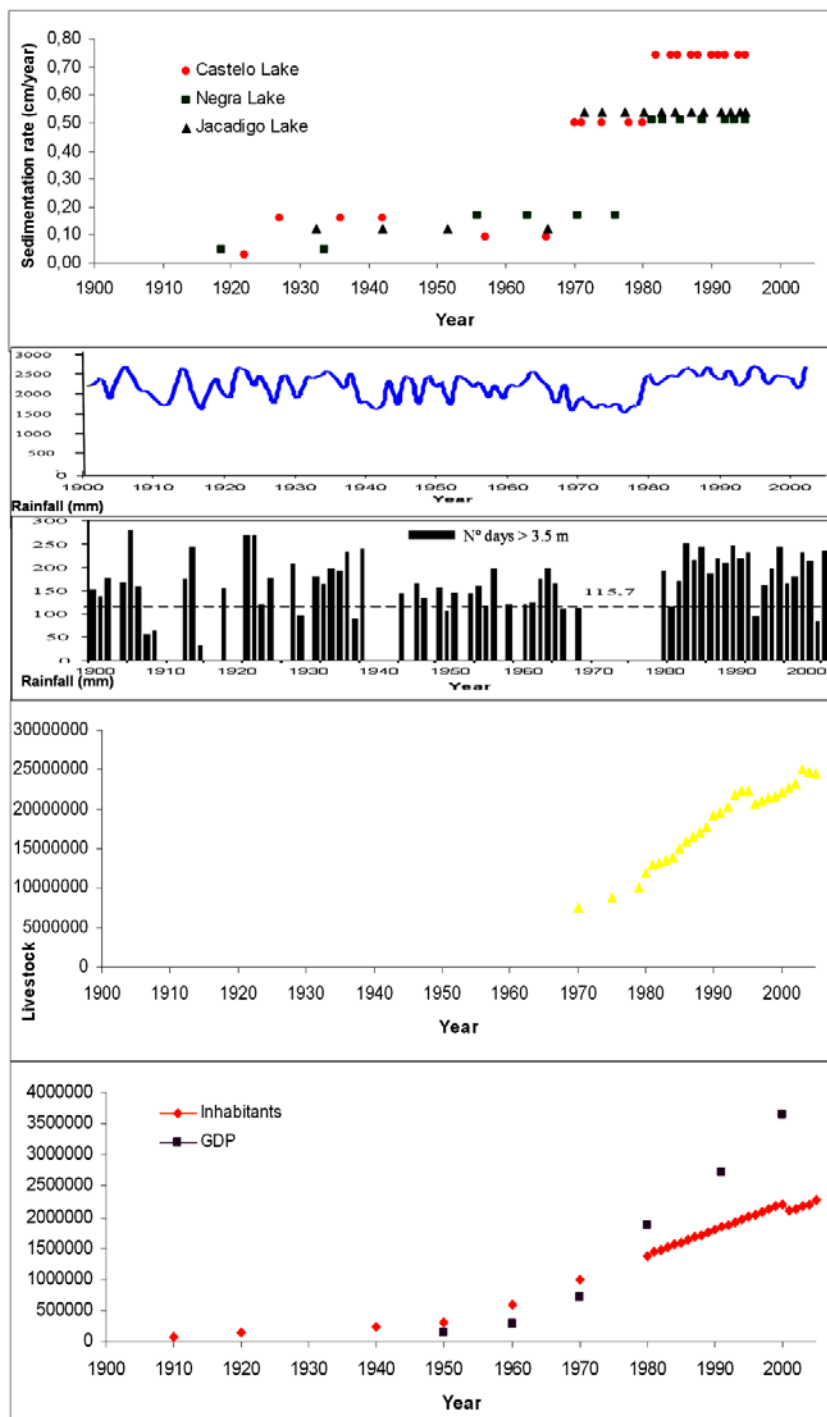


Figura RP.5. Resultados del Pantanal (de Bonachea et al., 2010).

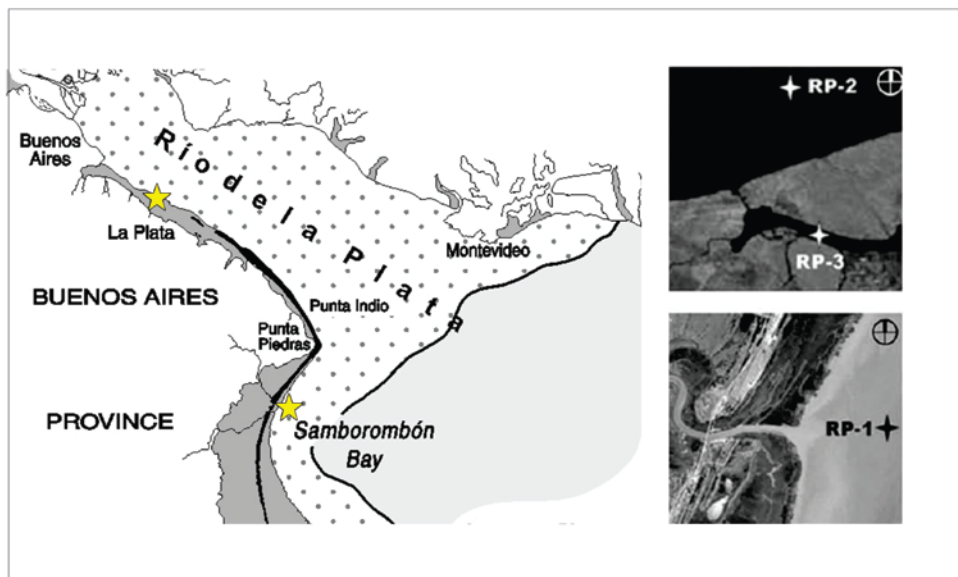
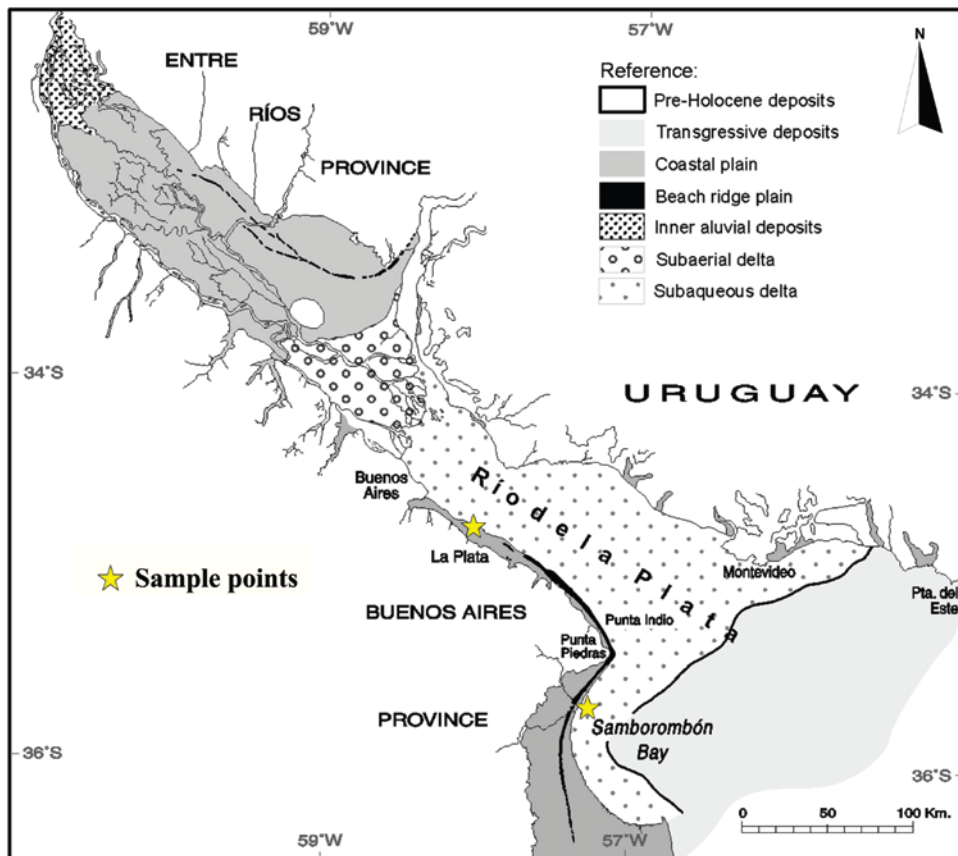


Figura RP.6. Mapa del estuario del Río de la Plata (de Bonachea et al., 2010).

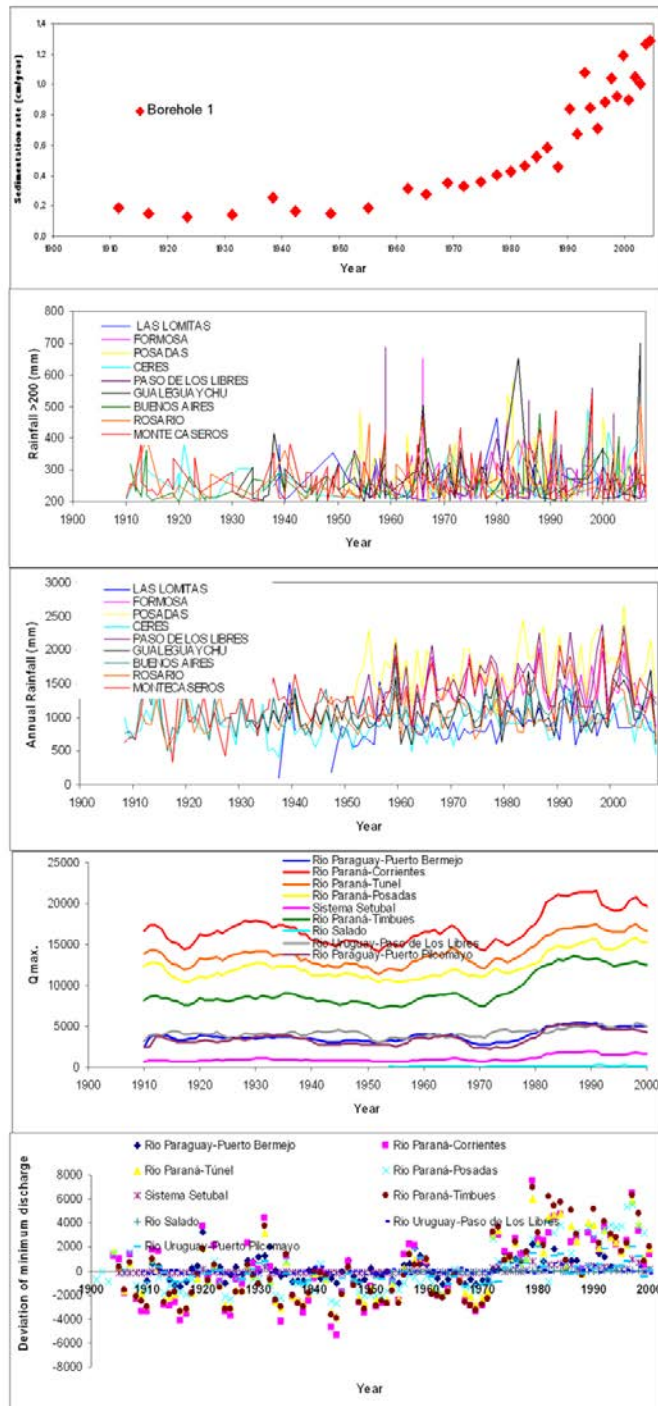


Figura RP.7. Resultados del Estuario del Río de la Plata (de Bonachea et al., 2010).

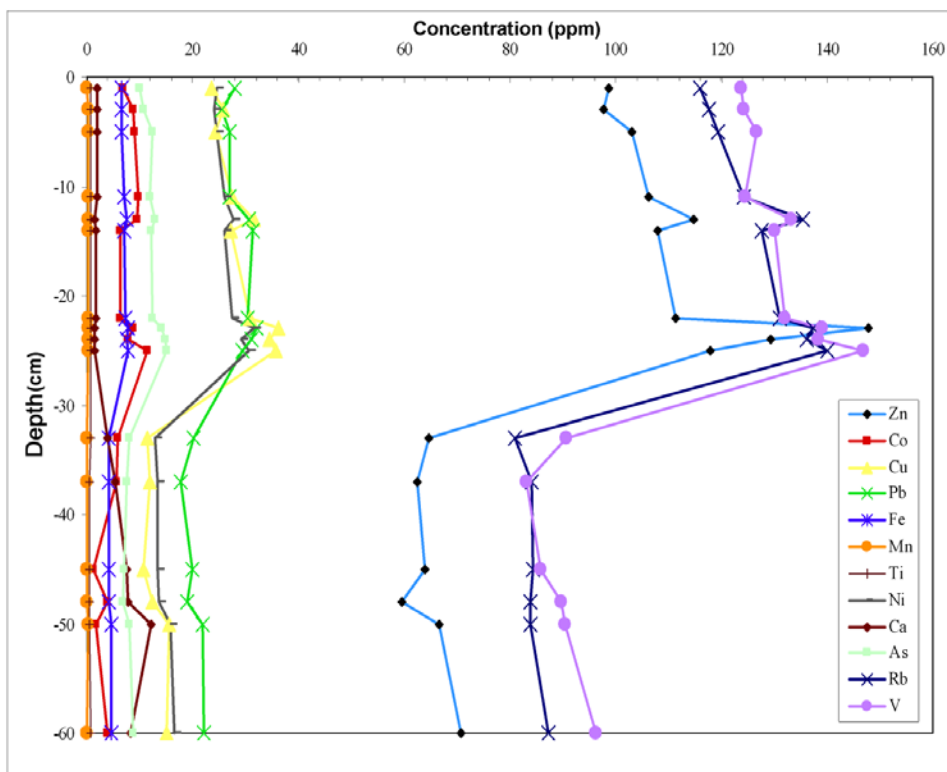


Figura RP.8. Metales pesados en el Estuario del Río de la Plata (de Bonachea et al., 2010).

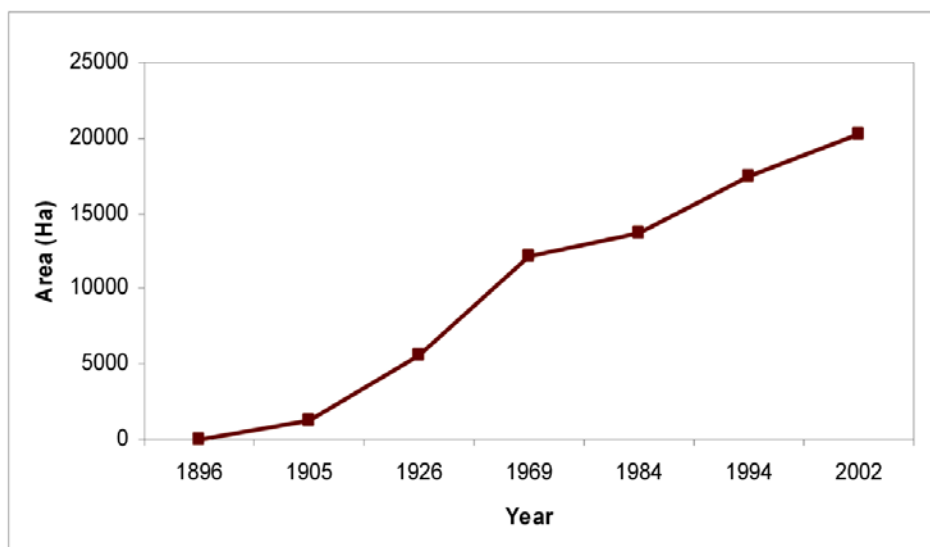


Figura RP.9. Evolución temporal del delta subaéreo en el Río de la Plata (de Forte et al., 2008).

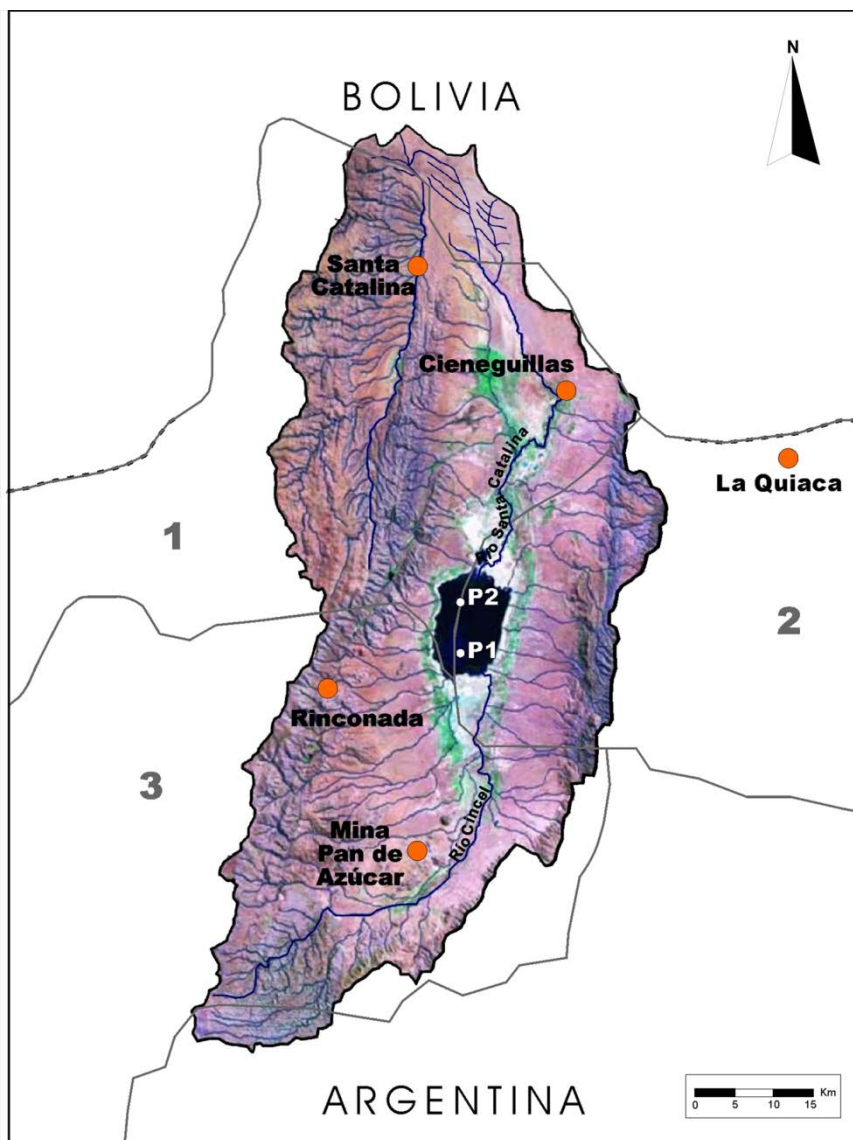


Figura RP.10. Mapa de la cuenca de la laguna de Pozuelos (de Bonachea et al., 2010).

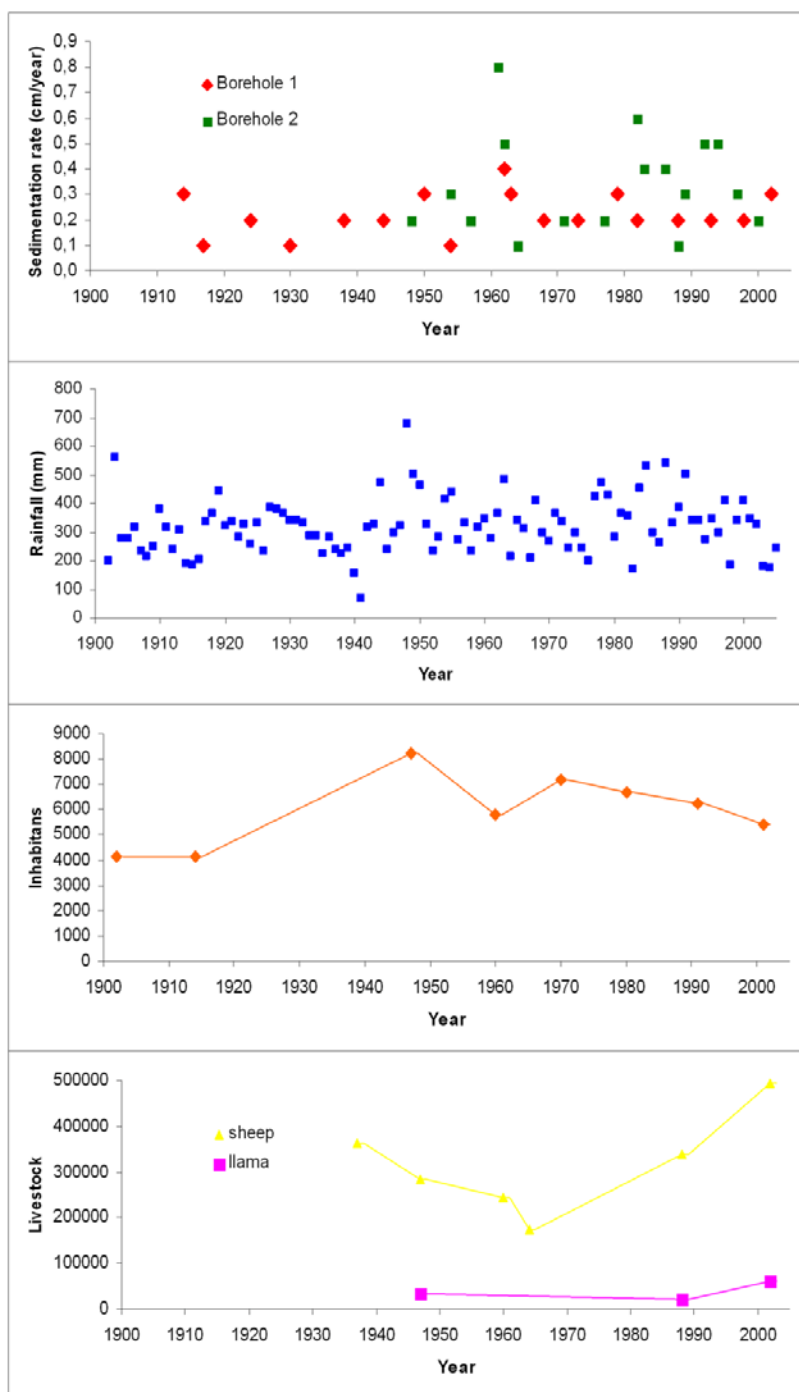


Figura RP.11. Resultados en la Laguna de Pozuelos (de Bonachea et al., 2010).

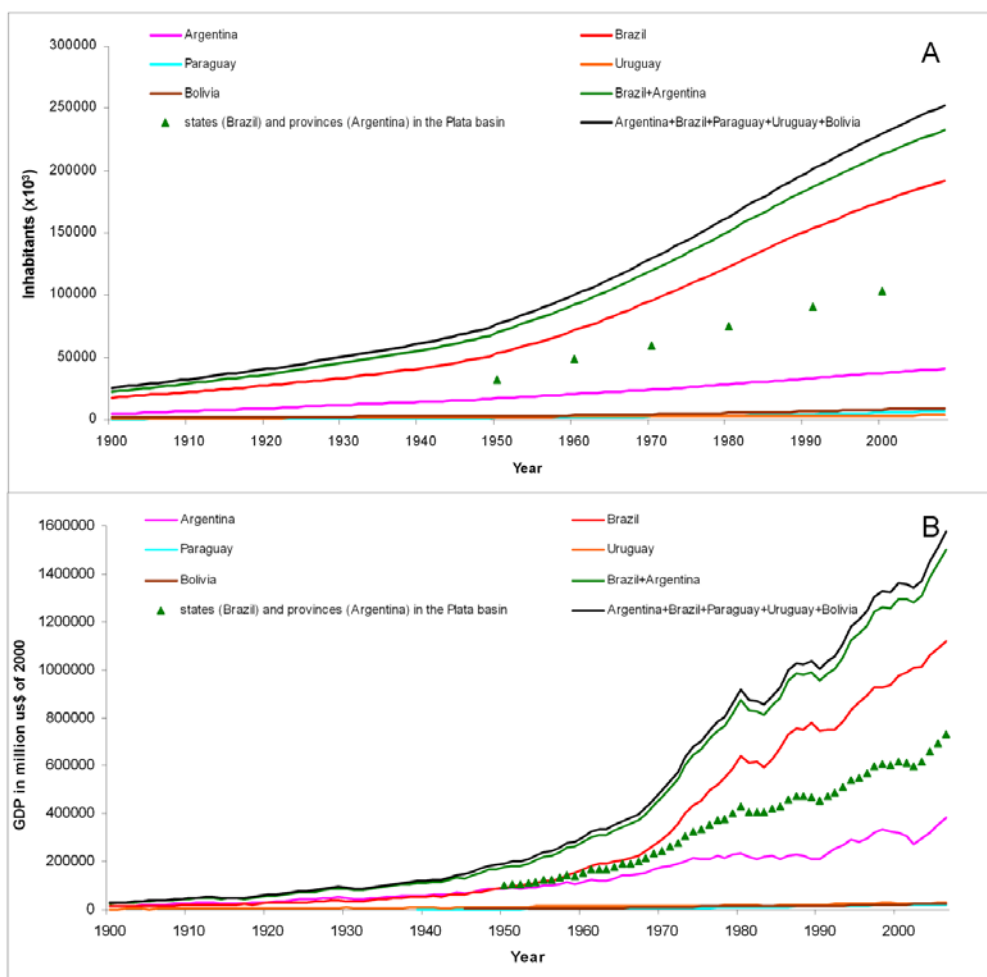


Figura RP.12. Impulsores humanos (población y PIB) en la cuenca del Río de la Plata (de Bonachea et al., 2010).

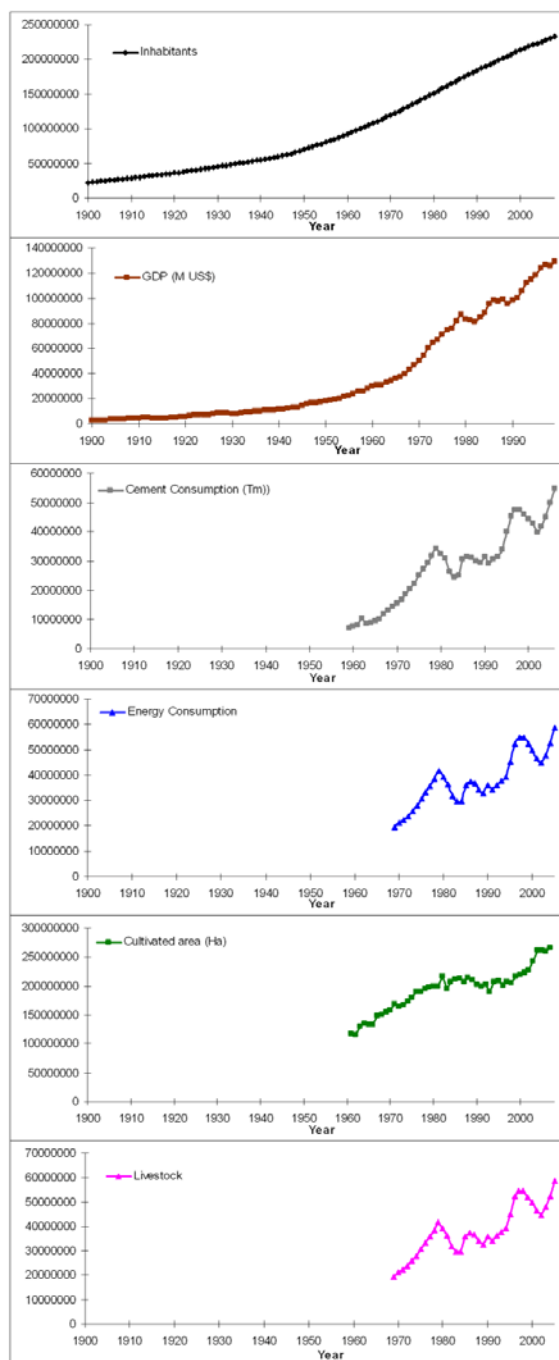


Figura RP.13. Indicadores de actividad humana en cuenca Río de la Plata (población, PIB, consumo de energía, consumo de cemento, cabaña ganadera, extensión cultivada; de Bonachea et al., 2010).

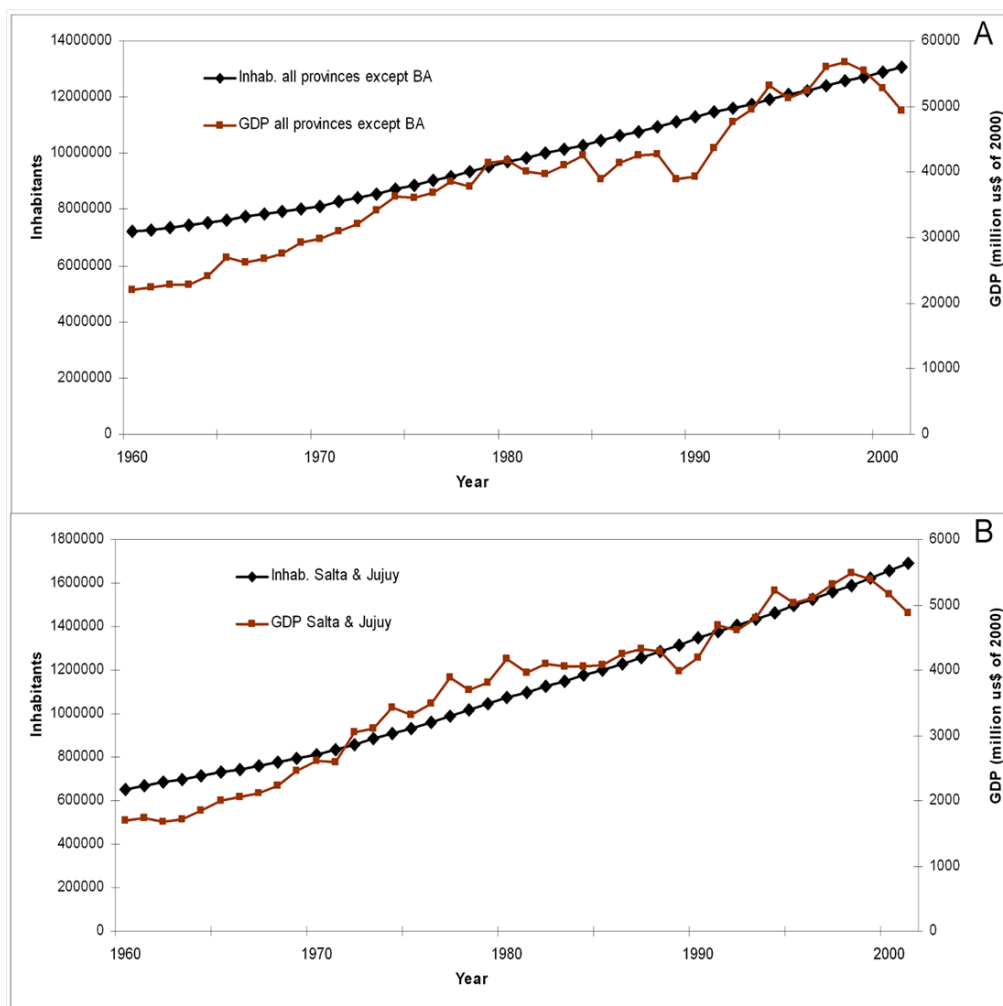


Figura RP.14. Población y PIB en la parte argentina de la cuenca del Río de la Plata, así como en Salta+Jujuy (de Bonachea et al., 2010).

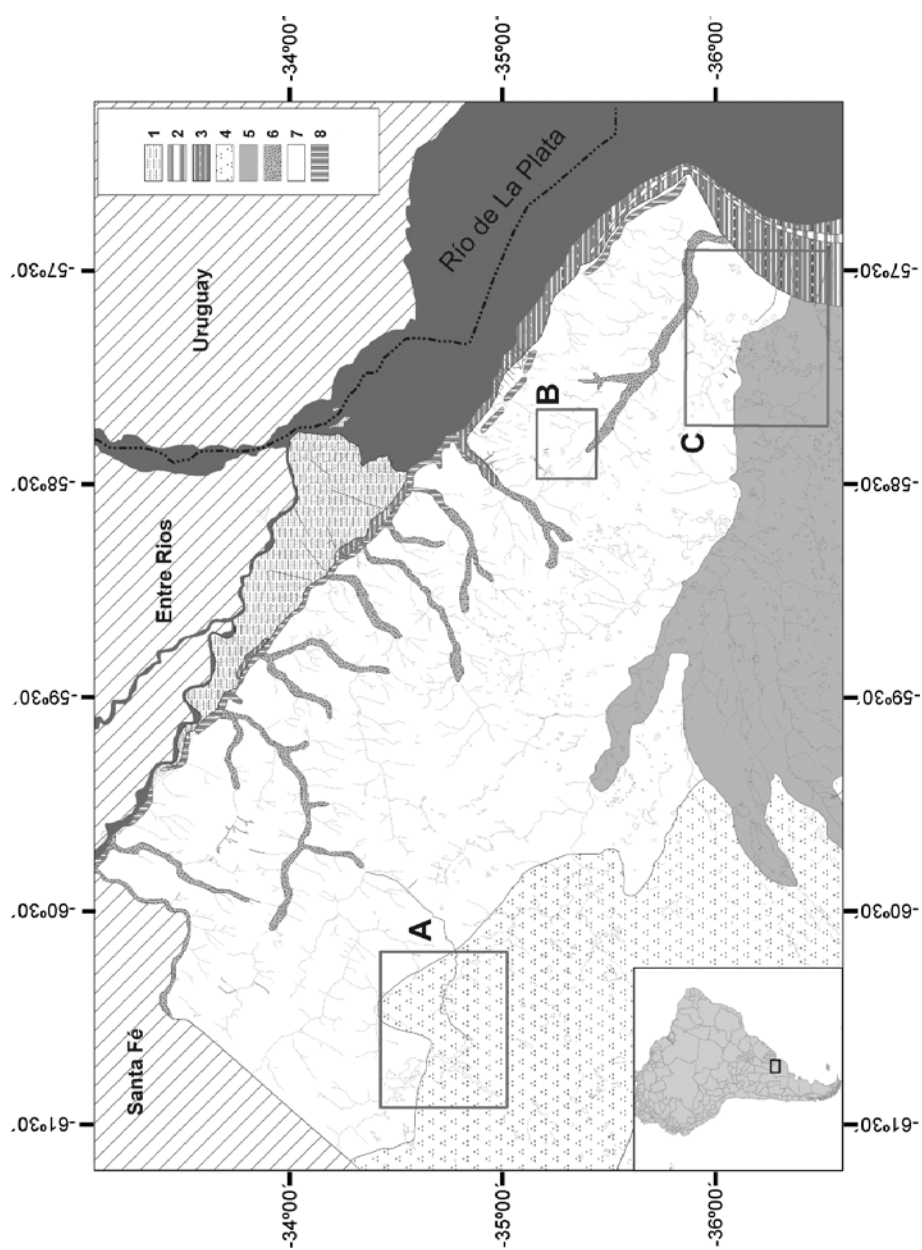


Figura RP.15. Zona de estudio en la Pampa húmeda (de Forte et al, 2016).

Figura RP.16. Mapa mostrando la amplia distribución de las lagunas en la Pampa húmeda. Esta figura, por sus dimensiones, se presenta solamente en los anexos, en formato digital.

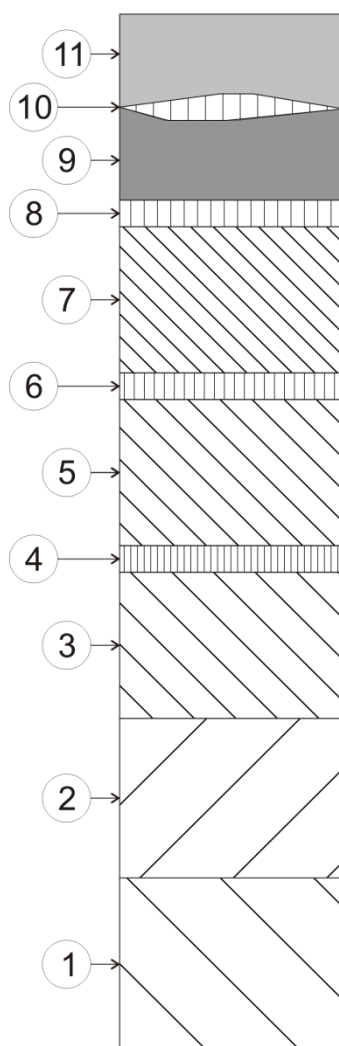


Figura RP.17. Sucesión sedimentaria sintética de las lagunas estudiadas. Los espesores de las distintas formaciones no están a escala, pues varían de unas lagunas a otras. Esto se ha representado solamente para La Postrera IV. 1. Formación Ensenada, 2. Formación Buenos Aires, 3. Formación Luján, Miembro La Chumbiada, 4. La Postrera I, 5. Formación Luján, Miembro Lobos, 6. La Postrera II, 7. Formación Luján, Miembro Río Salado, 8. La Postrera III, 9. Subaluvial, 10. La Postrera IV, 11. Aluvial (de Forte et al., 2016).

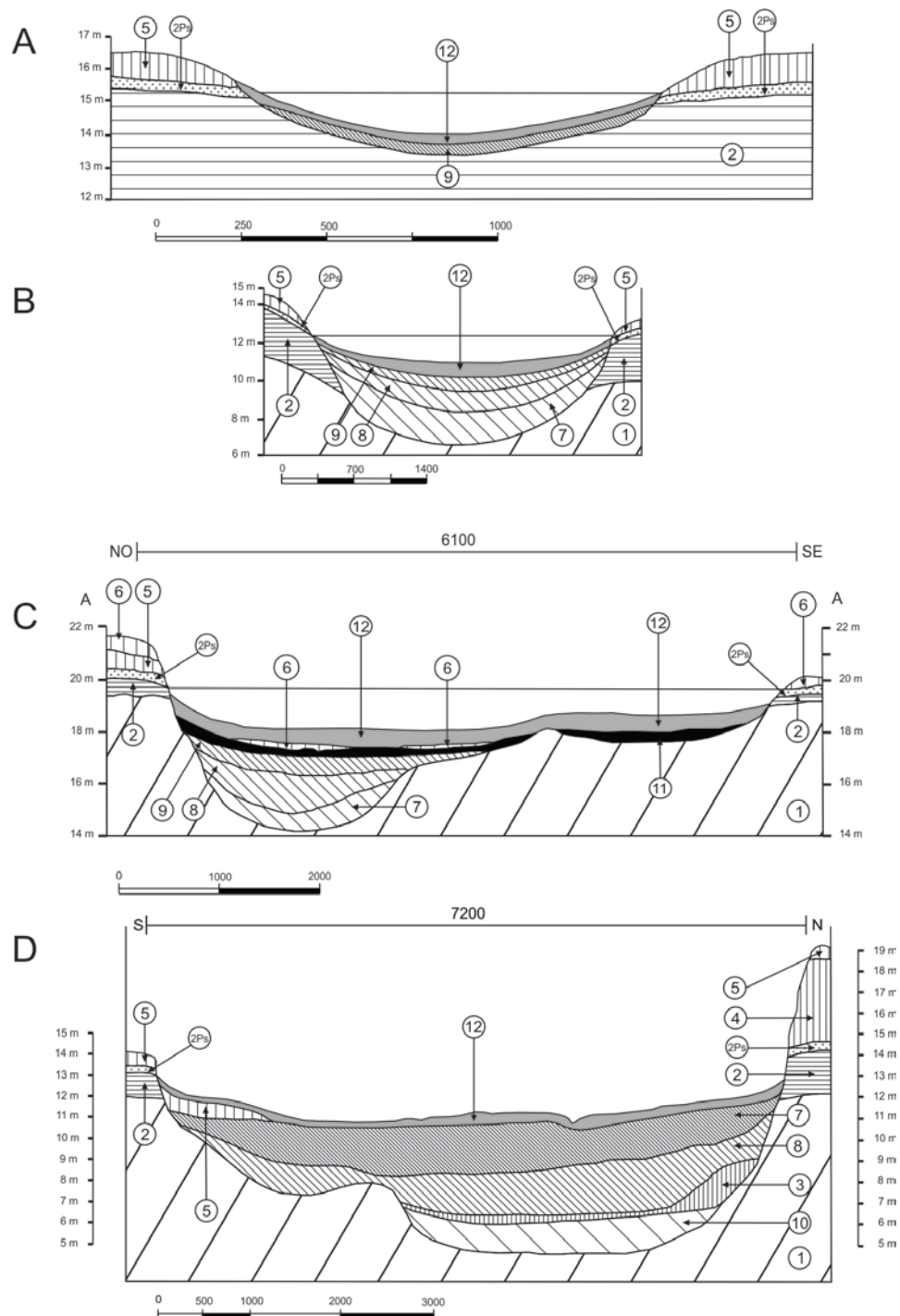
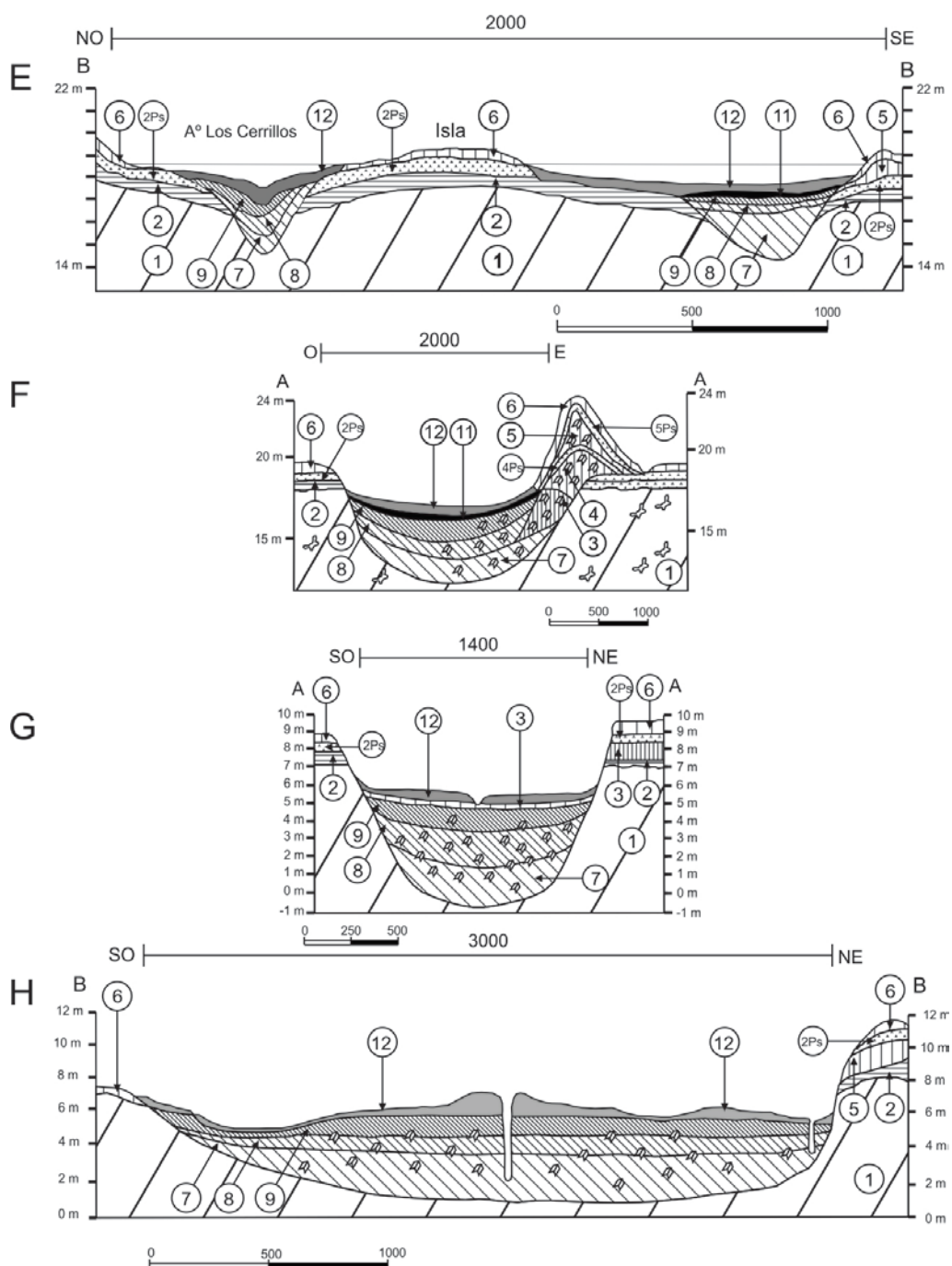


Figura RP.18 Cortes esquemáticos de las sucesiones sedimentarias en distintas lagunas (de Forte et al, 2016).

Continuación Figura RP.18 Cortes esquemáticos de las sucesiones sedimentarias en distintas lagunas



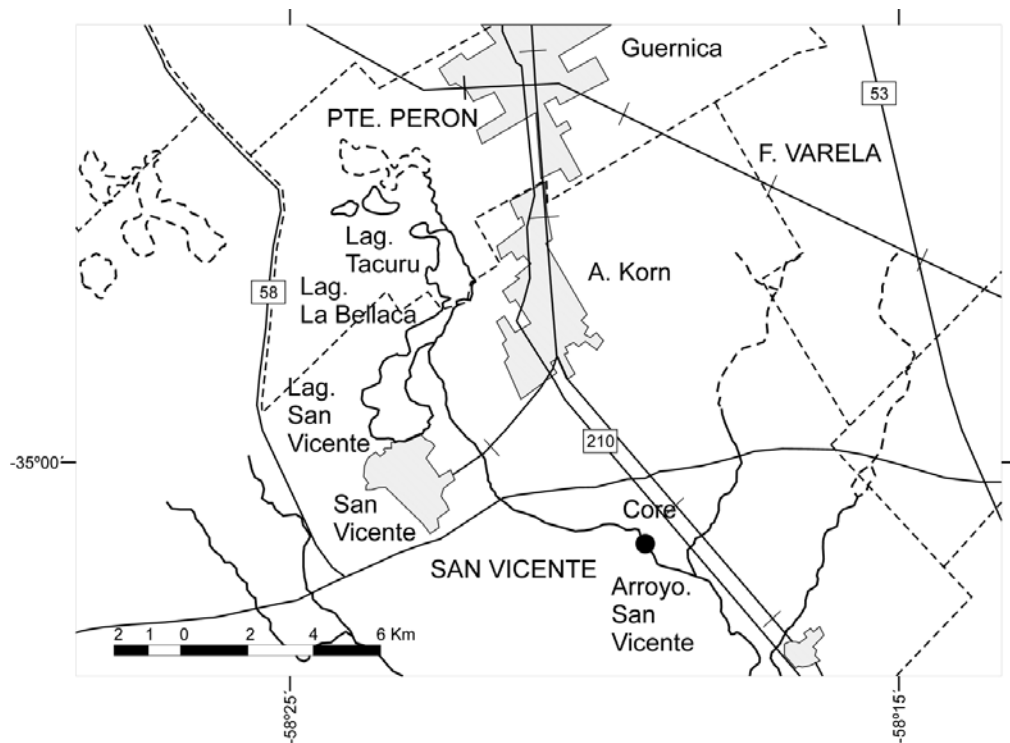


Figura RP.19. Mapas de detalle de las tres zonas seleccionadas para la extracción de sedimento y determinación de tasas (de Forte et al, 2016).



Figura RP.20. Fotografías mostrando el espesor de sedimento acumulado en el Arroyo San Vicente entre 2003 y 2015.

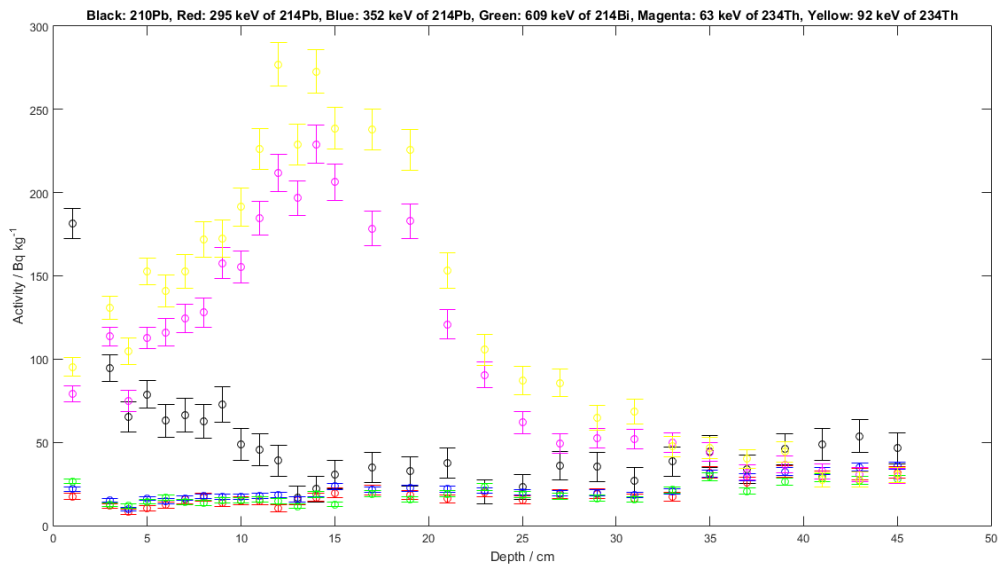


Figura RP.21. Actividades correspondientes a los distintos isótopos.

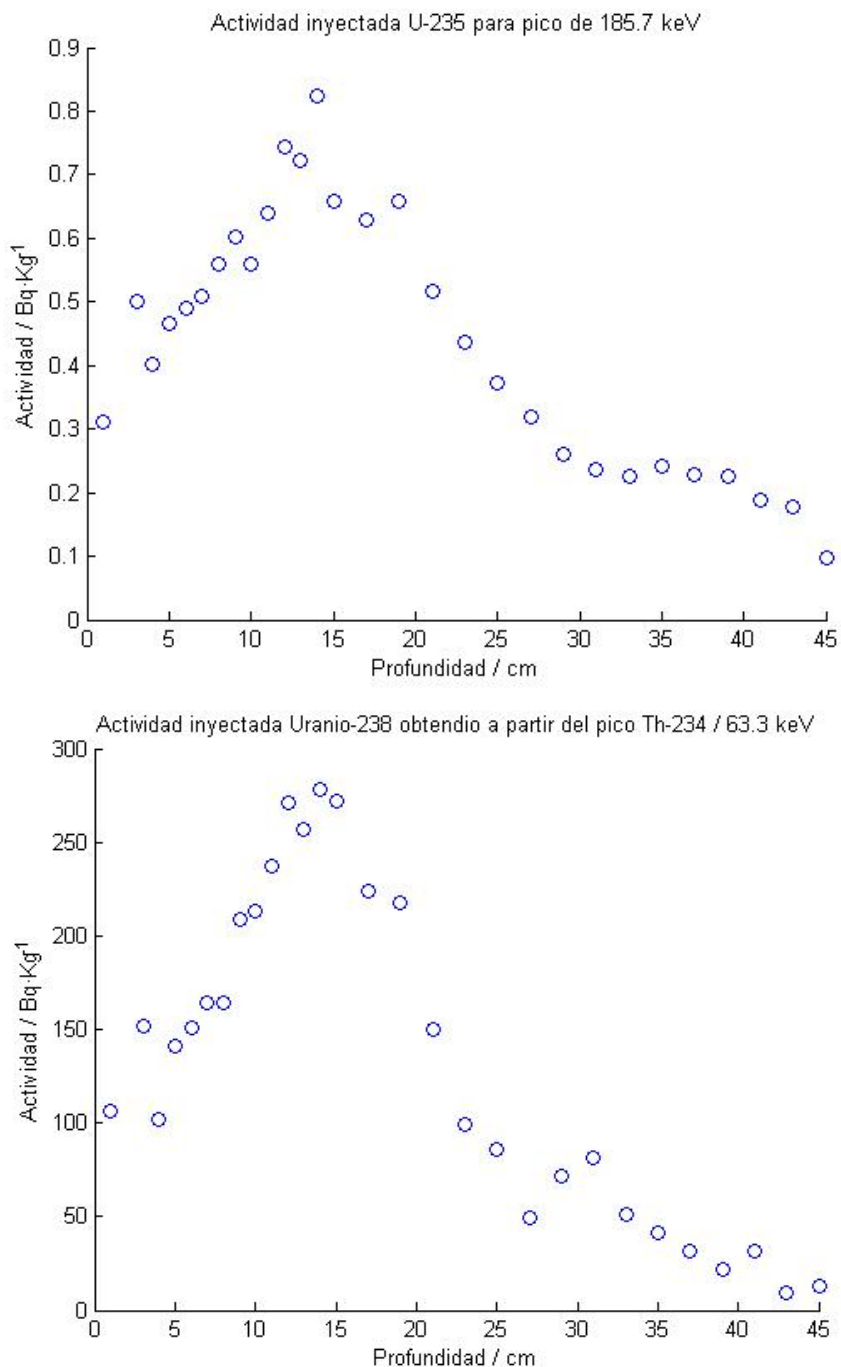


Figura RP.22. Actividades de U-238 inyectado, obtenidas a partir de U-235 en equilibrio secular (haciendo media con los valores de las actividades de Pb-210 y Bi-214).

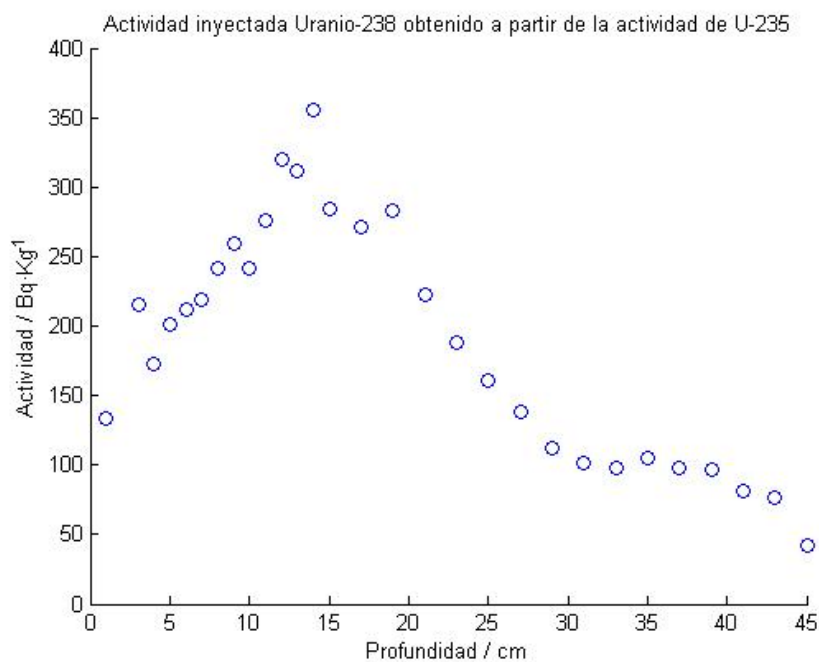
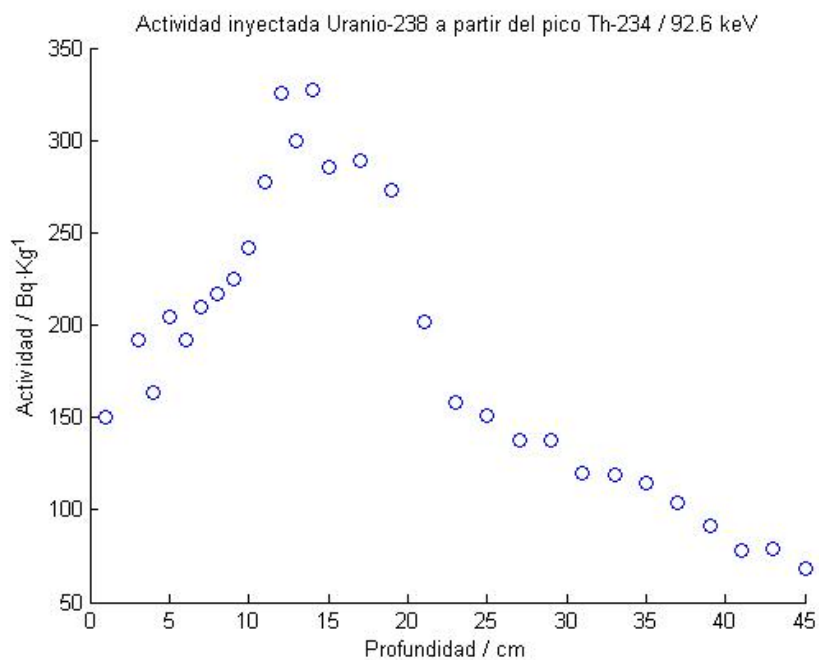


Figura RP.22. Continuación

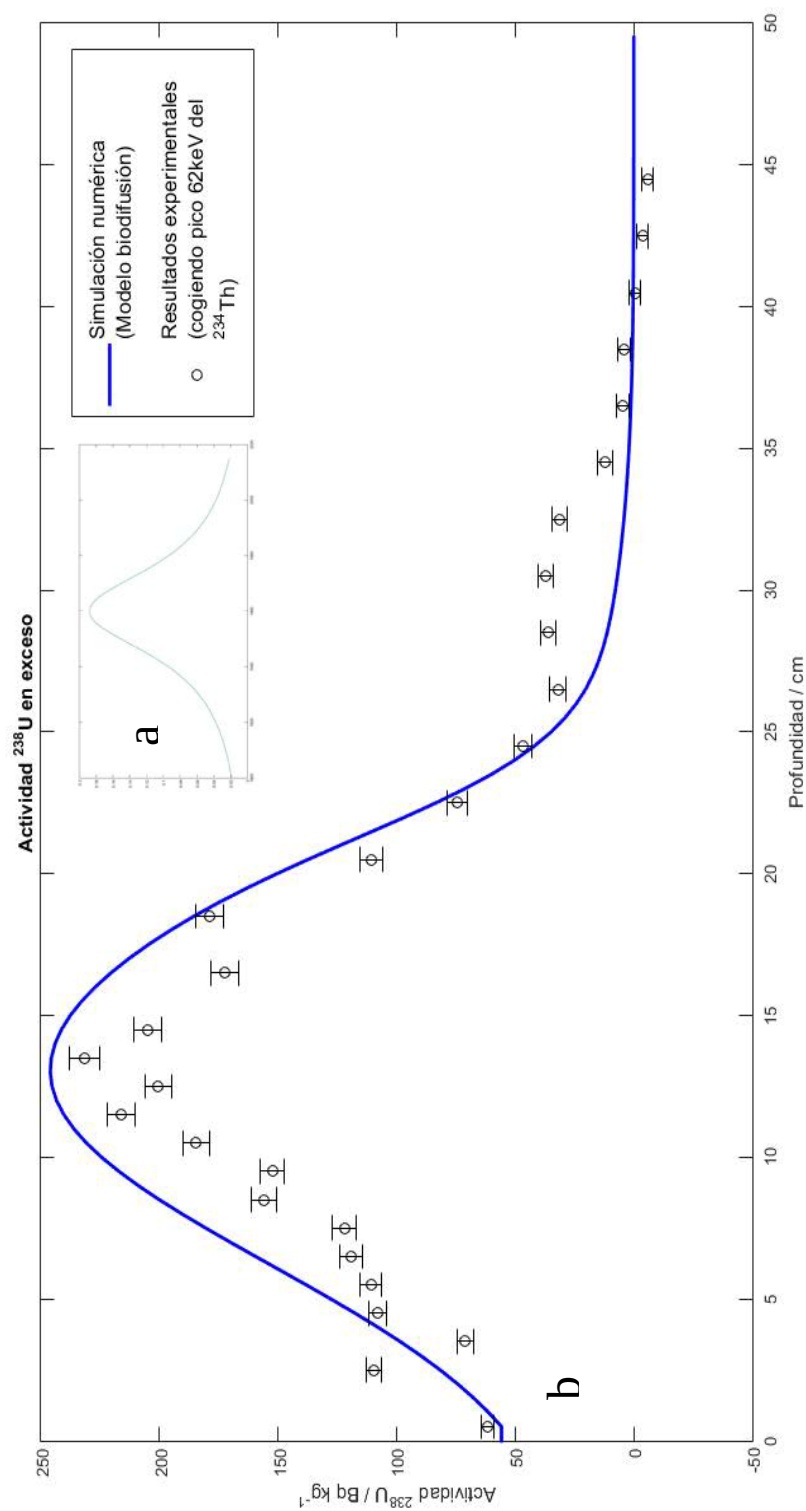


Figura RP.23. Simulación de la actividad de U-238 inyectado (a) y comparación con la determinación experimental a partir del pico 62 keV del Th-234 (b).

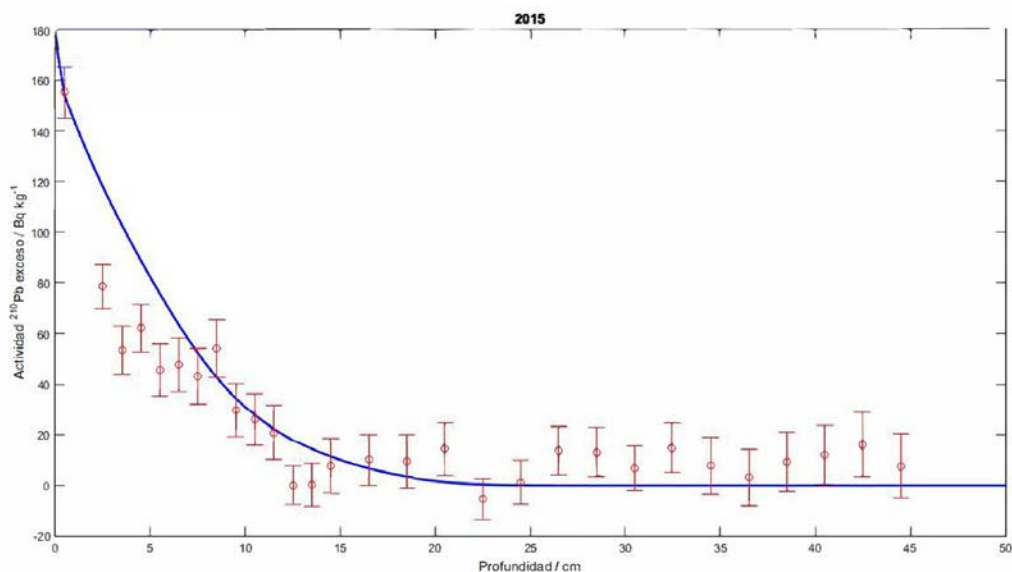


Figura RP.24. Actividad de Pb-210 en exceso. Se señala la falta del dato correspondiente a la muestra N° 2.

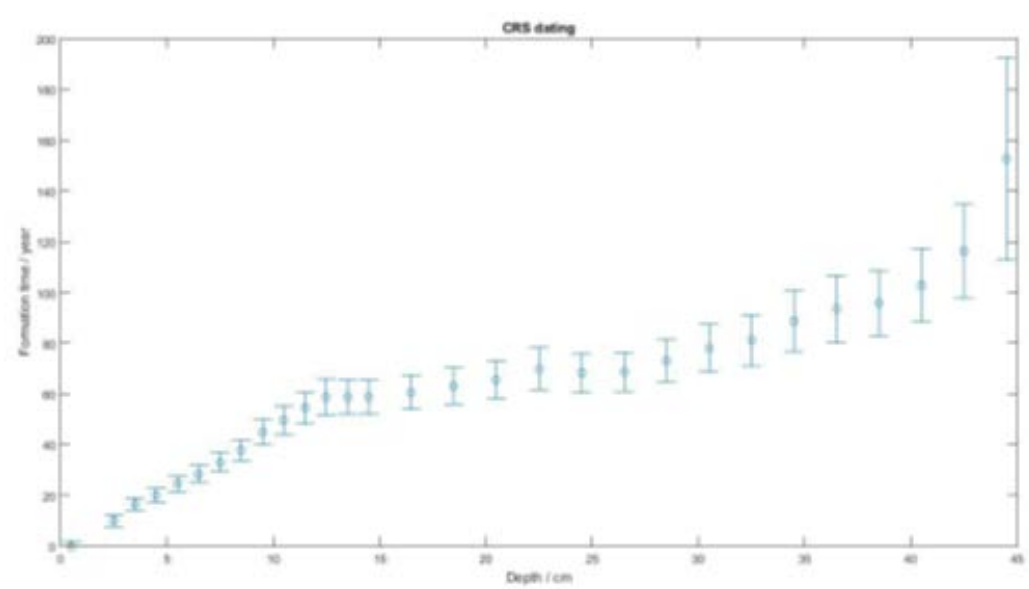


Figura RP.25. Edad de los distintos niveles, obtenida por medio del modelo CRS. Nótese la falta del dato correspondiente a la muestra N° 2.

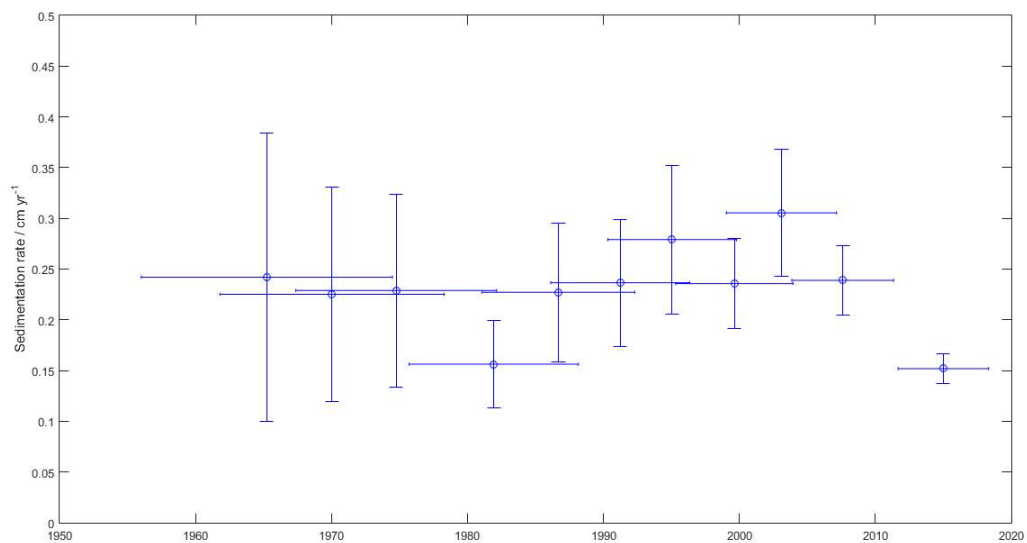


Figura RP.26. Tasas de sedimentación estimadas a las distintas profundidades (edades).

3.2. Síntesis regionales a partir de la literatura.

Introducción

Con el fin de completar la visión de las variaciones de las tasas de sedimentación a lo largo del tiempo, se ha hecho una amplia revisión de la literatura sobre el tema. Los resultados de dicha revisión se presentan a continuación, organizados por áreas geográficas. La revisión, evidentemente, no cubre todo el planeta, pero abarca una serie de zonas de características geomorfológicas, climáticas y humanas muy diversas, que en conjunto cubren una extensión equivalente a aproximadamente el 25% de la superficie de los continentes. Pueden por tanto considerarse una muestra suficientemente amplia y representativa. En concreto, se presentan datos sobre Europa (con un tratamiento específico para el norte de España, por razones evidentes), China, India, Estados Unidos, y Australia.

En total, se han obtenido datos sobre sobre tasas de sedimentación en cerca de un millar de lugares. Los datos obtenidos son de calidad y resolución temporal muy variables, entre otras cosas porque en muchos de los trabajos el objetivo no era el análisis de dichas tasas. En algunos casos se tiene un único dato (media) para un periodo concreto, y en otros se tienen datos que cubren de manera bastante completa y continua un periodo de más de un siglo. En la mayoría de los casos, no obstante, no se cuenta con más de tres datos (medias para tres lapsos temporales) para el periodo de interés, que va desde la segunda mitad del siglo XIX a la actualidad. La irregular distribución y resolución temporal de los datos se ha encontrado dentro de cada uno de los países o regiones analizados. Además, hay peculiaridades que afectan a unas regiones que no se dan en otras. Por ejemplo, en Australia hay una etapa bien definida y documentada que corresponde al periodo anterior al asentamiento de la colonización europea, el conocido como periodo “pre-settlement”, que concluyó entre 1850 y 1900. Ese tránsito marca una fuerte diferencia en el grado de influencia humana sobre el territorio, que se refleja en un aumento de las tasas de sedimentación. Algo similar pero de manera no exactamente sincrónica, ocurre en Estados Unidos. Por el contrario, en lugares como China, India o Europa el cambio fue más gradual. La citada irregularidad y falta de sincronía en el desarrollo de los procesos humanos que afectan al territorio, dificulta la realización de comparaciones o síntesis para el conjunto.

Para resolver el problema anterior, se ha decidido agrupar los datos de tasas de sedimentación en tres grandes periodos. El primero cubre hasta el inicio del siglo XX, el segundo corresponde a la primera mitad de dicho siglo y el tercero desde ese límite hasta la actualidad. El primer límite se corresponde con lo que se puede considerar el final de una etapa en la que no se había consolidado todavía la ocupación y colonización agrícola ganadera de territorios como Estados Unidos o Australia, y también en el que la mecanización agrícola o el uso de maquinaria pesada para la construcción eran prácticamente inexistentes, en estos y en los demás países. Durante el segundo periodo, se inicia en la mayoría de las regiones la utilización de esa maquinaria, y tiene también lugar un marcado incremento de las tasas de crecimiento de la población. Finalmente, a partir del final de la Segunda Guerra Mundial se produce la ya citada “Gran Aceleración” (Steffen et al., 2011), caracterizada por un aumento brusco de multitud de indicadores de la intensidad de la actividad humana, y de los efectos de la misma sobre el medio natural. Por supuesto, en el detalle, como ocurre con los tránsitos anteriores, el cambio no se produce de manera sincrónica en todos los países. Es, por ejemplo, anterior en Europa y Estados Unidos que en los países en desarrollo, como India o China.

En todo caso, aunque los límites sean difusos, sí que los tres grandes periodos citados tienen una serie de características comunes prácticamente en todo el mundo, que los diferencian entre sí. El primero se caracteriza por la ausencia de mecanización, baja densidad de población, poca intensidad de las actividades humanas en general y, consecuentemente, una limitada transformación del territorio. En el segundo periodo, especialmente en la segunda mitad del mismo, se produce un considerable aumento de la población y se empieza a generalizar la mecanización, lo que resulta en un mayor grado de transformación del territorio. Finalmente en el tercero, con la Gran Aceleración, se intensifican fuertemente todo tipo de actividades que afectan al territorio y pueden tener reflejo en los procesos geomorfológicos (y otros).

Se piensa que la comparación de las tasas de sedimentación promedio entre los citados periodos puede ser significativa y proporcionar bases útiles para comprobar si el modelo propuesto es válido y ofrece una explicación satisfactoria de los datos obtenidos. Teniendo en todo caso presente la diacronía de los procesos entre regiones del mundo y el carácter difuso de los tránsitos entre los tres periodos, se han tomado como límites temporales para los mismos, los siguientes: pre 1900 (AA), 1900-1950 (CC); post 1950 (DD).

En todas las regiones analizadas hay lugares para los que no se dispone de tasas diferenciadas para la primera y la segunda mitad del pasado siglo (CC y DD respectivamente). En esos casos, se ha calculado el promedio de los dos últimos periodos, atribuyéndolos al periodo BB, que cubre desde el principio del siglo XX hasta el presente (esto es, AA+DD). Al elaborar las figuras de síntesis, los valores calculados en esos casos se han asignado al periodo CC. Evidentemente, las tasas de sedimentación para el conjunto del periodo (BB) cubren hasta los tiempos recientes (las fechas de realización de los trabajos correspondientes). Como se ha podido constatar a través del análisis de los datos que se presentan, es indudable que las tasas de sedimentación han sido mayores en tiempos recientes que en la primera mitad del pasado siglo. Por tanto, si fuera posible discriminar en todos los casos los periodos (aproximados) 1900-1940/50 (CC) y 1940/50-2000/10 (DD), las diferencias entre los promedios de ambos serían más marcadas que las que aparecen en las figuras que aquí se presentan. En otras palabras, el tipo de representación utilizado ha seguido un criterio conservador, el menos favorable a la hipótesis que se trata de comprobar.

De acuerdo con lo anterior, en las discusiones que siguen, así como en las tablas, gráficas y figuras se hace referencia a los siguientes periodos (no diferenciados en todos los casos y en general con límites difusos): AA) anterior a 1900. BB) indiferenciado; desde 1900 hasta el presente. CC) Pre GM-II; aprox. 1900-1940/50. DD) Post GM-II; aprox. desde 1940/50 hasta el presente.

Esta representación se ha realizado con el propósito de permitir: (i) la visualización de las diferencias entre tres grandes periodos: (AA), (CC), (DD) este último coincidiendo con la “Great Acceleration” (Steffen et al., 2004, 2011, 2015; Bruschi et al., 2012, 2013 a; Forte et al., 2016); (ii) la identificación de las tendencias generales de variación. Estas tendencias generales de variación se muestran en las figuras por medio de la línea interpolada entre las barras que indican los promedios de los tres periodos citados. La interpolación es semicuantitativa y se ha apoyado en los comentarios que algunos autores hacen sobre el significado, causas y tendencias de variación de las tasas, así como en la interpretación (evidentemente en parte subjetiva) del presente autor.

Procedimiento seguido

El análisis e interpretación de la información recopilada se ha realizado en varios pasos. En primer lugar, se han analizado los datos agrupados por ambientes de sedimentación y en segundo lugar por cuencas fluviales, grandes unidades fisiográficas o áreas geográficas definidas. Las unidades espaciales consideradas han estado determinadas, en cada caso, por las características fisiográficas y la intensidad de las actividades humanas. También, lógicamente, por el número de datos obtenidos. En todos los casos se han determinado las tasas para los tres grandes lapsos temporales antes indicados.

Con el fin de obtener una visión del conjunto, se han obtenido los valores de promedio para cada una de las grandes áreas o regiones analizadas. Esos promedios se han calculado utilizando todos los valores obtenidos, sin ponderación por áreas, ambientes o número de datos. Tienen por tanto el significado de una primera aproximación de grano grueso.

En todos los casos se presenta la siguiente información;

- *Mapa con la localización.* Muestra la distribución de los puntos sobre los que se han obtenido datos.
- *Tabla de resumen de datos (Tablas “a”).* Resume los datos relativos a los puntos sobre los que se ha obtenido información, indicando las referencias bibliográficas correspondientes, así como comentarios aclaratorios sobre los métodos y técnicas empleados para determinar las tasas de sedimentación. Cuando las tasas para determinados períodos se calcularon a partir de información presentada por los autores, se ha indicado esta circunstancia, aclarando si se han estimado a partir de gráficas o de datos numéricos. Se han volcado además algunas interpretaciones o comentarios de los autores del trabajo original, etc. En estas tablas se indica si los valores que se incluyen se han obtenido directamente de lo presentado por los autores, si se han calculado a partir de datos que ellos presentan, o si se han estimado sobre la base de la información aportada.
- *Tabla de cálculo de promedios de tasas de sedimentación y factores de aumento (Tablas “b”).* Contiene, para cada uno de los lapsos temporales analizados, los valores obtenidos de las

tasas de sedimentación, sus promedios y los factores de aumento entre los distintos períodos. Derivados de las tablas anteriores y resumidos gráficamente en las gráficas que se indican a continuación.

- *Gráfica de distribución temporal de las tasas.* Representa en forma gráfica, para una mejor visualización, las tasas de la tabla anterior.
- *Figura de síntesis del conjunto.* Esta figura es una caricatura (un “cartoon”) que resume e interpreta los resultados para el conjunto del lapso temporal cubierto, y que se ha elaborado obteniendo los valores medios del conjunto de los datos disponibles para los periodos antes indicados.

Las tablas *a* y *b*, gráficas y figuras se incluyen en los anexos. Las figuras se presentan en esta memoria al final de cada capítulo.

El cálculo de los promedios y de los factores de aumento de las tasas de sedimentación se ha realizado de acuerdo con dos criterios. En primer lugar, utilizando todos los datos existentes sobre cada zona o ambiente. Esto tiene la ventaja de no introducir ningún sesgo en el uso de los datos, pero tal vez no sea lo más adecuado. Por una parte porque, como es lógico, hay muchos más datos para el periodo más reciente que para los anteriores, sobre todo para el más antiguo. Por otra, porque los puntos con datos para solamente uno (o incluso dos) de los periodos establecidos no permiten caracterizar la evolución temporal del proceso. Por ello, se han hecho en segundo lugar los cálculos y las representaciones utilizando para cada ambiente o área geográfica solamente los puntos que cuentan con datos para los tres lapsos temporales establecidos. Se piensa que esto puede reflejar de manera más adecuada los cambios experimentados en el proceso de aporte de sedimentos a lo largo del tiempo. Tiene sin embargo el inconveniente de que el número de puntos con datos se reduce de manera importante, con el riesgo de reducir la representatividad para el conjunto.

Los datos de los puntos con información para los tres lapsos temporales son seguramente más fiables para caracterizar la evolución temporal y determinar los factores de aumento (variaciones relativas). Por su parte, los promedios con todos los datos seguramente reflejan mejor el valor absoluto de las tasas en cada lugar y periodo, algo especialmente útil en el caso del periodo más reciente, que cuenta con mayor número de datos.

3.2.1. China

Introducción

China, con una extensión de 9.600.000 km², presenta una gran diversidad geológica, geomorfológica y climática. Tradicionalmente, se han considerado cinco grandes macro-regiones físicas (Skinner, 1977). Las tres regiones de *China oriental*, que incluyen la *llanura del nordeste*, la *llanura norte* y las *montañas del sur*, así como las *tierras altas del Tibet* y *Xinjiang-Mongolia*. En las zonas oriental y meridional predominan las áreas bajas con tierras fértiles, y en ellas se asienta la mayoría de la población y de la producción agraria. En el norte y el oeste se ubican los grandes macizos montañosos y las grandes fosas, algunas con desiertos como el Gobi y el Taklamakan, así como la gran meseta del Tibet.

La *llanura nororiental* es una estrecha franja costera con un clima suave, predominantemente templado húmedo, en la que se concentra una parte muy importante de la población. La *llanura norte*, ubicada entre la zona costera, las Montañas Taihang, al oeste, y el río Yang Tsé, al sur, con un clima entre semiárido y templado continental, contiene amplias extensiones de loess y una gran llanura aluvial formada por los aportes de los ríos Yangtze y Amarillo, y también alberga una muy alta densidad de población. Al este de la meseta tibetana y al sur del Yangtze, están las *montañas del sur*, una región en la que se encuentran una serie de cadenas con altitudes de 1000-3000 m y de cuencas, entre las que destaca la de Sichuan, bastante amplia y poblada. El clima es predominantemente oceánico y subtropical húmedo. En la parte S de esta región hay una cadena con un notable paisaje kárstico. La región de *Xinjiang-Mongolia* se ubica al N y NE de la Meseta Tibetana; con clima predominantemente semiárido o desértico frío, alberga la gran cuenca de Tarim, con una elevación promedio de 1000 m, en la que se sitúa el Desierto de Taklamakan. Hacia el E el relieve desciende, hasta 154 m bajo el nivel del mar, en el lago desecado de Ayding, el punto más bajo de China. Hacia el NE de la Meseta Tibetana, hay dos cadenas montañosas de sentido aproximadamente E-W, entre las que se sitúa la cuenca de Qaidam (2500-3000 m), en la que se encuentran numerosos lagos salados. Por último, las *tierras altas del Tibet*, con un clima de tundra y desierto frío, están formadas por la Meseta Tibetana, con altitudes de alrededor de 4000 m y las grandes cadenas montañosas circundantes, incluyendo el Himalaya (Hook, 1991; Lin, 2006).

Los grandes ríos del país cruzan distintas regiones, acarreado sedimentos desde las tierras altas del W y NW hacia la costa oriental. Es el caso del Yang Tsé (6.300 km y $1,8 \times 10^6$ km² de cuenca) o del Huang He (Amarillo; 5.464 km y 752.000 km² de cuenca), que nacen y desembocan en el Tibet, en el Océano Pacífico. En la zona S destaca el Zhujiang (De las Perlas; 2.214 km), en cuya desembocadura, cerca de Macao y Hong Kong, forma un gran delta (Bin, 2001).

La distribución de la población está condicionada, lógicamente, por los rasgos descritos. Se concentra fundamentalmente en las regiones de la China oriental, especialmente en las zonas costeras, y su densidad disminuye hacia el W y NW, siendo muy baja en las tierras altas del Tibet y en Xinjiang-Mongolia (Bin, 2001).

Distribución de los datos obtenidos

Se han obtenido datos para un total de 201 lugares, que se han agrupado en los ambientes de sedimentación que a continuación se relacionan. La distribución de dichos lugares se muestra en la figura Ch.0.

1. Lagos y depresiones kársticas inundables: 116
El conjunto anterior se ha separado en dos, para analizar por separado los lagos afectados por la dinámica de los grandes ríos (en los que era de esperar que las represas que en las últimas décadas se han construido en ellos, se reflejara en las tasas de sedimentación) y los no influidos de manera directa por dicha dinámica.
2. Lagos en cuencas cerradas o no conectadas a la dinámica de grandes ríos: 68
3. Lagos influidos por la dinámica de grandes ríos: 48
4. Humedales continentales: 4
5. Represas: 12
6. Depósitos en planicies de inundación: 3
7. Depósitos en canales fluviales: 2
8. Humedales costeros: 1
9. Deltas y ambientes estuarinos: 46
10. Depósitos fangosos en plataforma próximos al continente: 17

Análisis por ambientes de sedimentación

Los resultados correspondientes a los ambientes considerados se presentan en la tablas Ch.1 a – Ch.10 a (resumen de datos), figuras Ch.1 b – Ch.10 b (cálculo de promedios), gráficas Ch.1 – Ch.10 (representación gráfica de los datos utilizados para el cálculo de los valores en las “tablas b”), así como en las figuras Ch.1 – Ch.10. Se señala que no se presenta la tabla Ch.8 b ni la gráfica o la figura Ch.8, por corresponder a un único lugar con un solo dato de tasas (humedales costeros).

Para varios de los ambientes citados, el número de puntos de observación o la discriminación temporal de los datos obtenidos, no permiten realizar un análisis de la evolución temporal de las tasas de sedimentación. Se trata de los humedales costeros (1 punto; tabla Ch.8 a), los depósitos en canales fluviales (2 puntos; tabla Ch.7 a, b), las represas (con datos solamente para el último periodo considerado, tabla Ch.5 a, b) y los depósitos fangosos de plataforma, con un único dato para el periodo post-1900 (tablas Ch.10 a, b). En el caso de los depósitos en canales fluviales, los datos sobre los dos puntos en este conjunto muestran un aumento de las tasas en el segundo periodo considerado, y una disminución a partir de mitad del siglo XX, pero con valores superiores a los del primer periodo. Por la escasez de datos, estos resultados no son muy significativos, pero los señalamos por ser los únicos que se desvían de la tendencia general. Son especialmente significativos los resultados correspondientes a los lagos y a los depósitos costeros (deltas y estuarios), por el alto número de datos obtenidos para esos ambientes. No se han representado, por tanto, las figuras Ch.5, Ch.8 y Ch.10, por tener un único dato temporal, aunque sí se presentan los datos en las tablas correspondientes.

En todos los casos, con la única excepción antes citada de los depósitos en canales fluviales, se aprecia un aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo (en los depósitos en represas y en la plataforma costera, al tener documentado un único periodo, no se puede determinar).

En el conjunto de los *lagos* (tablas Ch.1 a, b y Fig. Ch.1 a; 116 datos), el incremento de las tasas es claro, con factores de aumento de 2,33 para el periodo AA-CC y 4,76 para AA-DD. Los valores son muy similares cuando se toman los puntos con tres datos (Fig. Ch.1 b). En los depósitos *de lagos no influidos directamente por los grandes ríos* (68 datos; tablas Ch.2 a, b y Fig. Ch.2 a), los factores de aumento son, respectivamente, 1,86 y 5,33. Al igual que en el caso anterior, la tendencia es muy similar si se hallan los promedios para puntos con tres datos, pero el aumento en

conjunto es algo menor (Fig. Ch.2 b). Si se analizan los datos para *lagos que sí están afectados por la dinámica de dichos ríos* (48 datos; tablas Ch.3 a, b y Fig. Ch.3 a), se tienen factores de aumento de 2,22 y 2,81; es decir, bastante similares para el primer periodo pero considerablemente menores para el segundo. Esto podría reflejar las consecuencias de la construcción de represas, que tuvo lugar sobre todo a partir de la segunda mitad del pasado siglo, con la consiguiente retención de sedimentos. Por su parte, la media de los 4 puntos que cuentan con tres datos (Fig. Ch.3 b) marca igualmente la tendencia al aumento, pero con un ritmo más acusado en el periodo reciente. Para dilucidar esta aparente contradicción sería preciso conocer la ubicación de estos 4 puntos en relación con las represas, dato que no hemos podido obtener.

El caso de los *depósitos en deltas y ambientes estuarinos* (tablas Ch.9 a, b y Fig. Ch.9 a) es también significativo, por corresponder a un total de 46 datos. En este caso los factores de aumento son 4,54 para AA-CC y 11,18 para AA-DD. Es decir, se trata de aumentos muy marcados. Al restringir el análisis a los puntos con tres datos (Fig. Ch.9 b), se obtiene (como en muchos otros casos) un menor valor de las tasas de sedimentación en el periodo más reciente, y una tendencia más marcada a la aceleración del proceso con el tiempo. AA-CC: 1,20; CC-DD: 3,59; AA-DD: 4,30

Los *humedales continentales* (tablas Ch.4 a, b y Fig. Ch.4 a) también muestran incrementos marcados de las tasas, sobre todo cuando se toman solamente los puntos con tres datos (Fig. Ch.4 b), pero al incluir únicamente 4 lugares son mucho menos significativos. Algo parecido ocurre con los depósitos en *planicies de inundación* (tablas Ch.6 a, b y Fig. Ch.6 a), si bien en este caso el incremento de las tasas es particularmente acusado, con factores de 3,58 para AA-CC y de 97,53 para AA-DD. No obstante, el reducido número de datos (3), hace que estos resultados deban tomarse con mucha cautela. Los valores correspondientes al único punto con tres datos (Fig. Ch.6 b) son más reducidos, y probablemente más ilustrativos de la tendencia. Los depósitos en *canales fluviales* (tablas Ch.7 a, b y Fig. Ch.7 a) son, como se ha indicado, los únicos que presentan mayores tasas de sedimentación en el periodo CC que en el DD, ambos superiores a las del periodo AA. En todo caso, al tratarse de solamente dos datos, tampoco son demasiado significativos.

Análisis por cuencas o áreas geográficas.

Para realizar el análisis por áreas geográficas, se ha hecho una agrupación de los datos de acuerdo con las macro-regiones físicas descritas al inicio de este capítulo. Los resultados de esa agrupación se presentan en las tablas Ch.11b – Ch.15 b y figuras Ch.11 – Ch.15. Los números de identificación de los puntos de observación que se presentan agrupados en estas tablas son, evidentemente, los mismos que figuran en las tablas que los agrupan por ambientes de sedimentación. No se presentan por tanto, las tablas Ch.11 a – Ch.15 a, ya que los datos identificativos de dichos puntos figuran en las tablas Ch.1a –Ch.10 a.

Se puede observar que la gran mayoría de los datos se ubican en las montañas del sur y cuenca del río Amarillo (gran parte de la cual se encuentra en dichas montañas), así como en los depósitos de deltas, prodeltas y estuarios de la costa oriental. El número de datos para las tierras altas de Xinjiang-Mongolia es pequeño, por lo que se han agrupado con los de las tierras altas del Tibet.

En las llanuras del NE, con datos sobre 8 puntos (tabla Ch.11 b y figuras Ch.11 a, b), se observa un claro aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo, así como una aceleración de las mismas en el periodo DD, tanto si se toman todos los puntos como solamente los que tienen tres datos. Lo factores de aumento son 1,35 para los periodos AA-CC, 3,51 para CC-DD y 4,74 para AA-DD, en el primer caso y AA-CC: 1,64; CC-DD: 2,22; AA-DD: 3,64, en el segundo.

En las llanuras del N y su prolongación hacia la vertiente S de la cuenca del Río Amarillo hay, sorprendentemente, un número reducido de datos, solamente 7 (tabla Ch.12 b y figura Ch.12 a). También aquí se aprecia un aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo, pero con un factor de multiplicación bastante menor entre los periodos CC-DD (1,45) que entre AA-CC (8,64). Si se toma el único punto con tres datos (figura Ch.12 b), la tendencia al aumento creciente de las tasas es más marcada, si bien el promedio del último periodo es algo más bajo. AA-CC: 3,12; CC-DD: 3,02; AA-DD: 9,43. Es de destacar que a lo largo del pasado siglo se ha producido un aumento de las tasas de un orden de magnitud.

Para las tierras altas del Tibet y Xinjiang-Mongolia se dispone de datos en 19 puntos, la mayoría con valores para los tres lapsos temporales considerados (tabla Ch.13 b y figura Ch.13 a, b). Nuevamente se constata un aumento de las tasas a lo largo de todo el tiempo cubierto, así como una

marcada aceleración a partir de mitad del siglo XX, con tendencias bastante similares con todos los puntos y con solo aquellos que cuentan con tres datos.

Para la amplia región de las montañas del S y la cuenca del YangTze hay datos sobre 98 lugares (tabla Ch.14 b y figura Ch.14). Se han representado las gráficas de variación temporal de dos maneras distintas, con todos los datos (figura Ch.14 a), y utilizando solamente los puntos con datos para los tres lapsos temporales (figura Ch.14 b). En los dos casos se aprecia claramente el aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo, y en el segundo (figura Ch.14 b) una aceleración de las mismas en la segunda mitad del siglo XX.

Finalmente, los depósitos de deltas y prodeltas en zonas estuarinas de la costa oriental (tabla Ch.15 b y figura Ch.15) engloban un total de 51 puntos con datos. Al igual que en el caso anterior, la representación de los valores promedio se ha hecho de dos formas diferentes, que en todos los casos muestran aumentos de las tasas con el tiempo. Cuando se utilizan todos los datos (figura Ch.15 a), los factores de aumento son mayores en el tránsito AA-CC (4,69) que al pasar de CC a DD (2,28). Si se consideran solamente los registros con datos para los tres periodos (figura Ch.15 b), el factor de aumento en el paso de CC a DD (3,59) es muy superior al del periodo AA-CC (1,2). Esto es, habría una fuerte aceleración en el último periodo.

Síntesis del conjunto.

Los resultados presentados apuntan claramente a una relación entre actividad humana y aceleración de los procesos de erosión/sedimentación en el país, algo que se ha señalado por distintos autores. Bai et al (2011, 2013), analizaron la evolución de las tasas de sedimentación en depresiones kársticas inundables, cuyas cuencas de aporte se encuentran afectadas por actividades agrarias, informando correspondencias entre el aumento de las tasas de sedimentación y la intensificación de las actividades humanas, con aumentos de las tasas mayores a un factor 2 entre los períodos pre y post 1963. Esta aceleración resulta visible en algunas zonas afectadas por la deforestación que tuvo lugar durante la década de 1970, donde el factor de aumento ha sido mayor a 10.

Según Boyle et al (1999), el crecimiento económico sostenido a partir de la segunda mitad del siglo pasado, se ha traducido en una reducción de

la superficie de muchos lagos comprendidos en las cuencas de los principales ríos que drenan la porción central de China, ubicados entre la costa y las regiones montañosas del oeste. A pesar de que no existen datos relativos a la línea de base que permitan realizar comparaciones más precisas, las consecuencias de la intensificación de las actividades económicas se tradujeron en un aumento de las tasas de sedimentación en un factor situado entre 1,5 y 3 (Boyle et al, 1999).

En las tierras altas del norte y este de China, las actividades humanas recientes se encuentran presentes en el registro sedimentario de distintos lagos y humedales continentales, mostrando aumentos que se deben tanto a factores climáticos (cambios durante los últimos 150 años) como antrópicos (Chen et al (2006). Distintos autores, Lan et al (2015), Wünneman et al (2006), Wan et al (2003, 2005, 2016), Wag & Zhai (2008), Wu et al (2005, 2010), Lui et al (2014), entre muchos otros, informaron aumentos en las tasas de sedimentación atribuibles a la intensificación de las actividades humanas sobre el territorio, aportando información que ha permitido calcular los factores de aumento entre los períodos anterior y posterior a la segunda mitad del siglo pasado, generalmente situados entre 1,5 y 2, y que alcanzan valores de 4 y 8. De manera coherente, Zhang et al (2010), presentaron datos que muestran una aceleración de las tasas de sedimentación en un lago comprendido en la porción media del río Yangtze (Lake Wushan) para los últimos 150 años, con un punto de inflexión en la década de 1960, como consecuencia de la construcción de represas. Las tasas de sedimentación del período más reciente (1930-2007), son mayores a las del período anterior en un factor 2. No obstante, si se comparan las tasas de los períodos 1930-1963 y 1963-2007, las últimas son solo marginalmente inferiores.

En los ambientes deltaicos y estuarios influidos por la dinámica de grandes ríos, Owen & Lee (2004), Zhang et al (2002), Junglong et al (2015), Fan et al (2011), Pan et al (2010), Guo et al (2007), Yu et al (2012, 2014), entre otros, informaron elevadas tasas de sedimentación atribuibles a la actividad humana para todo el siglo pasado, y en varios casos para el período posterior a su segunda mitad. Los factores de aumento, cuando se han podido calcular, se sitúan entre 2 y 8.

Todo lo anterior permite afirmar que en las diferentes regiones de China hay un aumento generalizado de las tasas de sedimentación a lo largo del tiempo. Además, especialmente si se consideran los lugares en los que hay datos temporales para los tres lapsos cronológicos, que dicho aumento parece haberse intensificado a partir de la mitad del siglo XX.

Los datos disponibles para el conjunto de las áreas geográficas analizadas, muestran tasas de sedimentación promedio que varían entre 3,75 y 13,45 mm/año. Los valores más elevados se dan en la costa oriental y en las llanuras del NE, que se encuentran entre las zonas más densamente pobladas del país. Los factores de crecimiento de las tasas en las diferentes regiones se encuentran entre 2,58 y 12,54 para el conjunto del periodo cubierto. Los valores más altos se encuentran, nuevamente, en la costa E, así como en la llanura N y cuenca del Río Amarillo, en la cual el valor absoluto de las tasas en el último periodo es de los más bajos. En esta última zona solo se dispone de datos sobre 6 puntos, por lo que cualquier interpretación sería bastante aventurada.

Se han calculado también los promedios de las tasas de sedimentación para todo el país, utilizando tanto el conjunto de los puntos (figura Ch.16 a), como solamente aquéllos que cuentan con datos para los tres lapsos temporales (figura Ch.16 b). Como en casos anteriores, en ambas figuras se aprecia un claro aumento de las tasas con el tiempo. En el segundo caso, además, es evidente la aceleración a partir de mitad del siglo XX.

Se ha abordado la comparación de los resultados para el conjunto del país con los dos factores que son los principales impulsores potenciales de la intensificación de los procesos de generación de sedimento, la intensidad de la actividad humana (tomando como indicador de la misma el PBI), y las precipitaciones. En la figura Ch.17 se ha representado el valor del PBI a lo largo del periodo cubierto por los datos disponibles en las bases de datos existentes (Bolt y van Zanden, 2013; National Bureau of Statistics of China, <http://www.stats.gov.cn/english>). Como se puede observar, la serie de datos sobre esta variable para este país comienza en los años 30. Los valores utilizados para el periodo AA son aproximados y discontinuos (Madison, 2007), pero suficientes para establecer que la diferencia con respecto al periodo siguiente es poco significativa. Se constata la tendencia general de aumento del PIB, con una gran aceleración a partir de los años 70, que puede relacionarse con la transformación social y económica que tuvo lugar a raíz de la Revolución Cultural.

En la figura Ch.18 a se comparan los valores promedio de las tasas de sedimentación (utilizando todos los puntos) y el PBI para los tres lapsos temporales considerados. La misma comparación, utilizando solo los puntos con tres datos temporales, se muestra en la figura Ch.18 b. El paralelismo entre la evolución de ambas variables es bastante notable, especialmente en el segundo caso, si bien el factor de aumento para el

conjunto del periodo cubierto es bastante menor para las tasas de sedimentación (5,09 para todos los puntos y 3,77 para puntos con tres datos) que para el PBI (10,72). Este punto se discute más adelante, en el capítulo de recapitulación y conclusiones.

Cuando los datos anteriores se comparan con los relativos a la evolución de las precipitaciones (figura Ch.19), salta a la vista que éstas han variado muy ligeramente a lo largo del periodo de análisis, y con magnitudes y sentidos diferentes en la zona oriental y occidental del país. En la parte oriental, en la que las tasas muestran un aumento acelerado, la tendencia general de las lluvias a partir de mitad del siglo XX, ha sido de disminución.

Los resultados presentados para el conjunto de China son coherentes con la propuesta de Bruschi et al. (2013), en el sentido de que la “presión geomorfológica humana” expresada como densidad de PIB/km² (o, en su defecto, densidad de población) podría ser el condicionante del grado de transformación del territorio y, en consecuencia, de la generación de sedimento. La contribución del cambio climático al crecimiento acelerado de las tasas de generación de sedimento y su consecuencia, las tasas de sedimentación, parecería ser bastante menor.

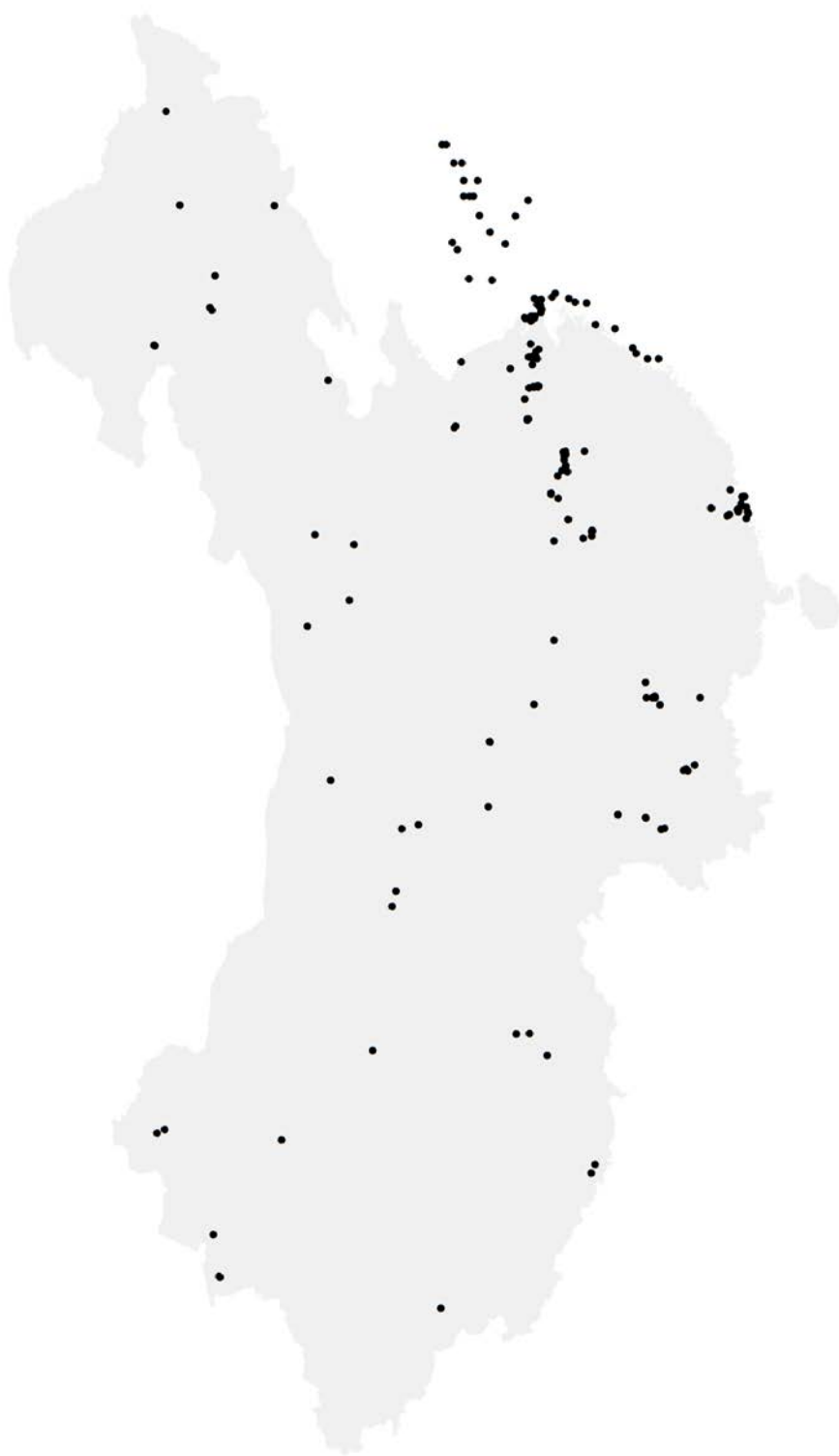


Figura Ch.0. China. Ubicación de los puntos con datos.

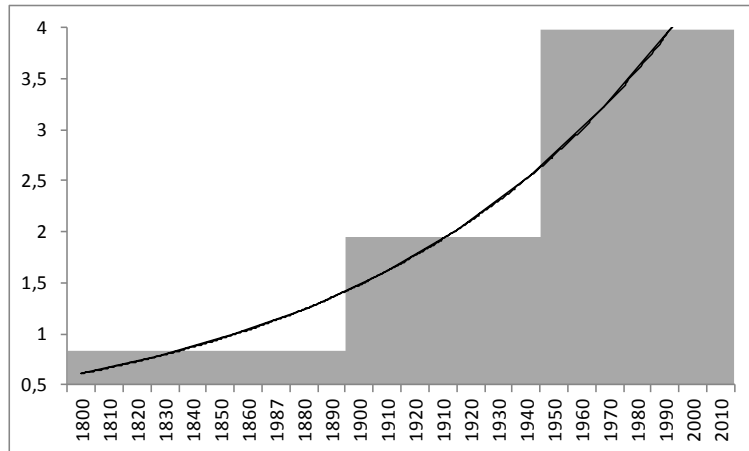


Figura Ch.1a. Lagos y Depresiones kársticas inundables. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,33; CC-DD: 2,05; AA-DD: 4,76.

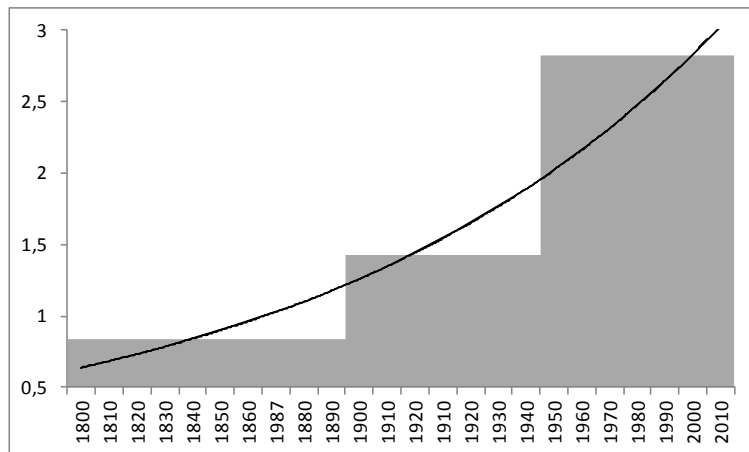


Figura Ch.1b. Lagos y Depresiones kársticas inundables. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,70; CC-DD: 1,98; AA-DD: 3,37.

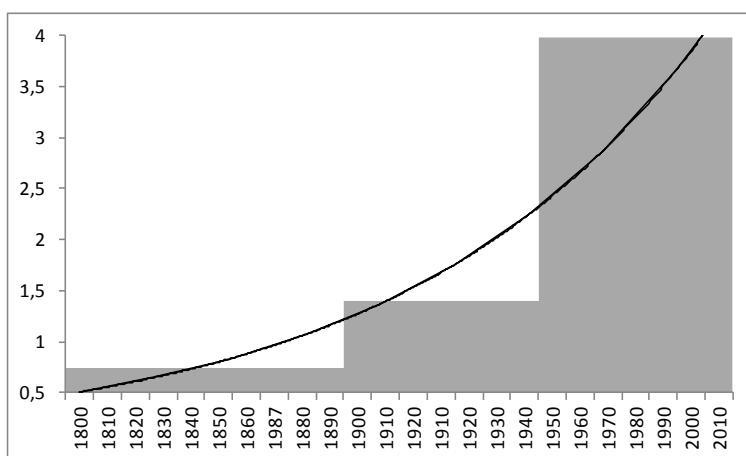


Figura Ch.2a. Lagos y depresiones inundables en cuencas cerradas y/o abiertas no controlados por la dinámica fluvial de grandes ríos Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,86; CC-DD: 2,86; AA-DD: 5,33.

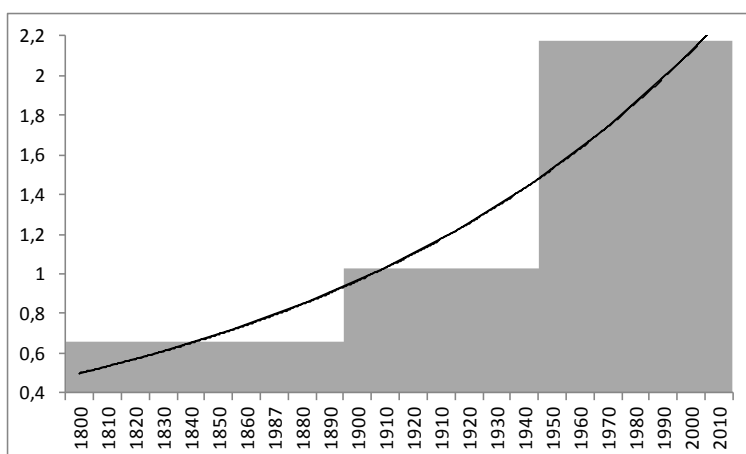


Figura Ch.2b. Lagos y depresiones inundables en cuencas cerradas y/o abiertas no controlados por la dinámica fluvial de grandes ríos Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,56; CC-DD: 2,11; AA-DD: 3,29.

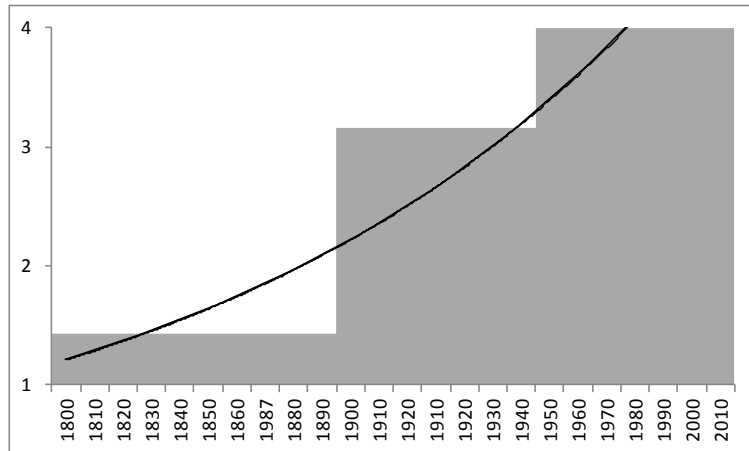


Figura Ch.3a. Lagos y depresiones inundables en cuencas hidrográficas controladas por la dinámica fluvial de grandes ríos Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,22; CC-DD: 1,26; AA-DD: 2,81.

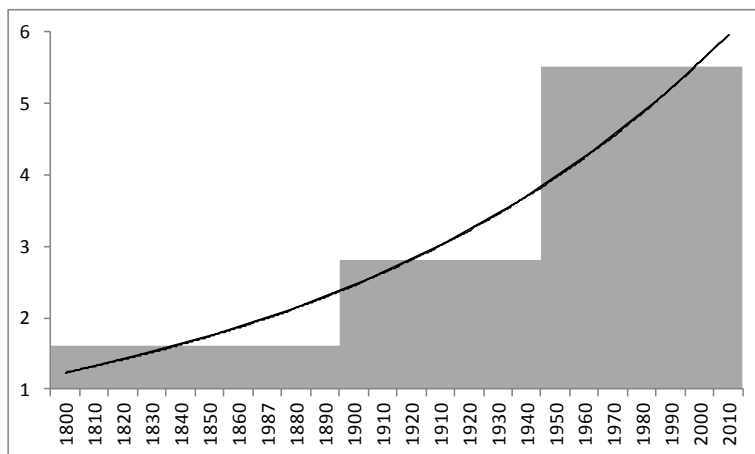


Figura Ch.3b. Lagos y depresiones inundables en cuencas hidrográficas controladas por la dinámica fluvial de grandes ríos Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,74; CC-DD: 1,97; AA-DD: 3,42.

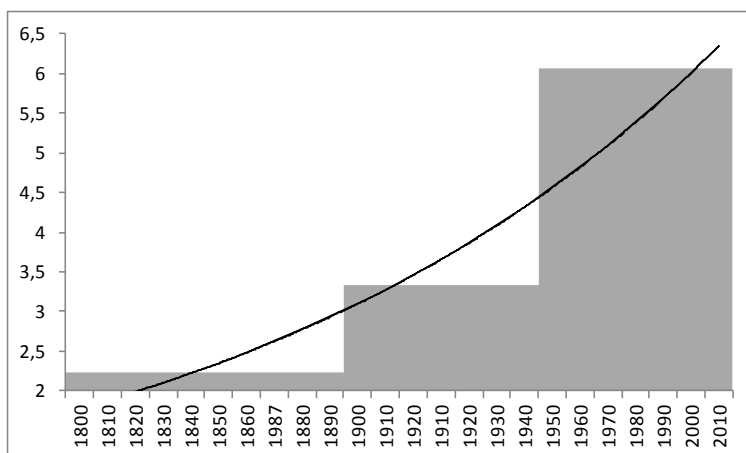


Figura Ch.4a. Humedales y Pantanos. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,49; CC-DD: 1,82; AA-DD: 2,71.

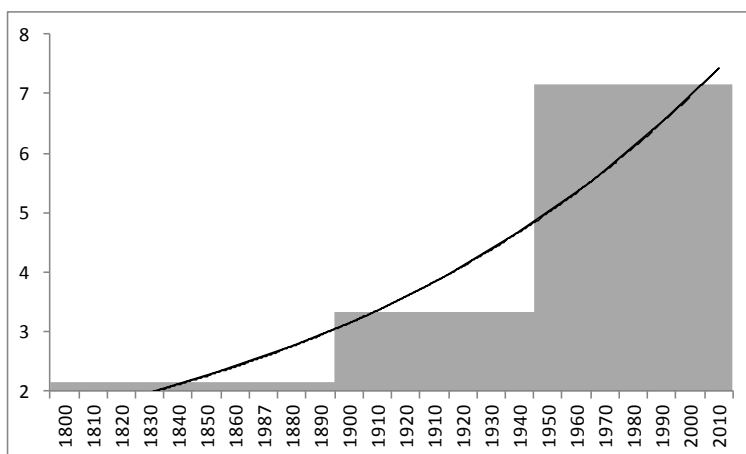


Figura Ch.4b. Humedales y Pantanos. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,55; CC-DD: 2,15; AA-DD: 3,33.

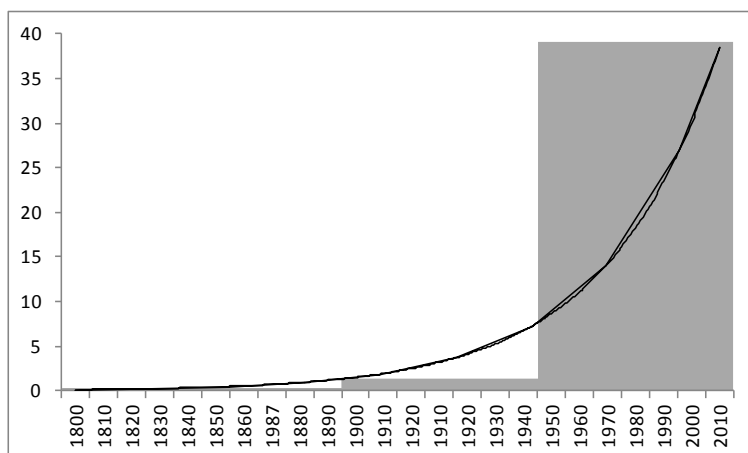


Figura Ch.6a. Depósitos en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,58; CC-DD: 27,28; AA-DD: 97,53.

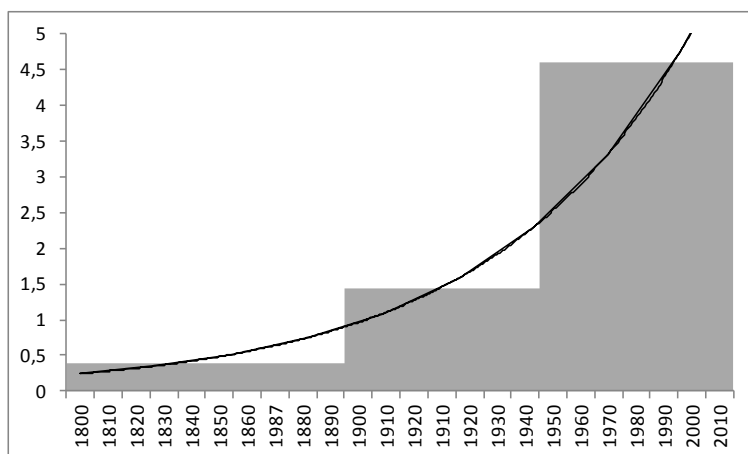


Figura Ch.6b. Depósitos en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación del punto con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,58; CC-DD: 3,22; AA-DD: 11,50.

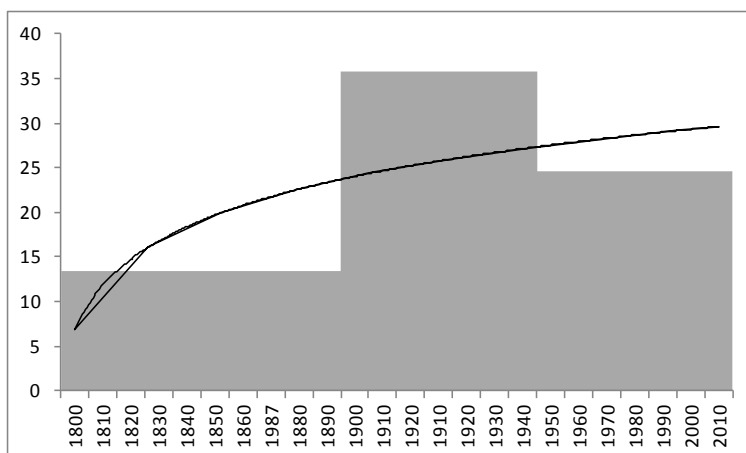


Figura Ch.7. Depósitos en canales fluviales. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,67; CC-DD: 0,69; AA-DD: 1,84.

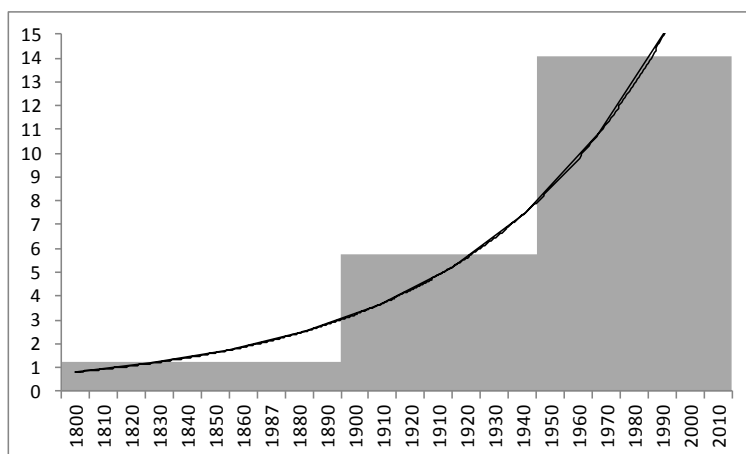


Figura Ch.9a. Deltas, prodeltas, ambientes estuáricos y costas adyacentes a la boca de grandes ríos. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 4,54; CC-DD: 2,46; AA-DD: 11,18.

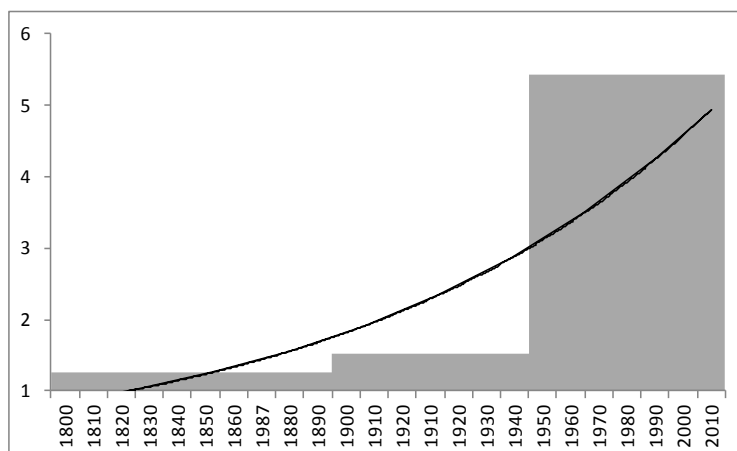


Figura Ch.9b. Deltas, prodeltas, ambientes estuáricos y costas adyacentes a la boca de grandes ríos. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres datos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,20; CC-DD: 3,59; AA-DD: 4,30.

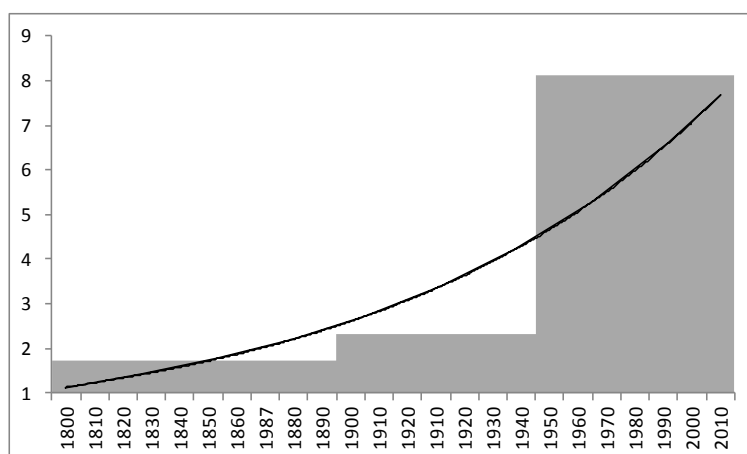


Figura Ch.11a. Llanura del Nordeste. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,35; CC-DD: 3,51; AA-DD: 4,74.

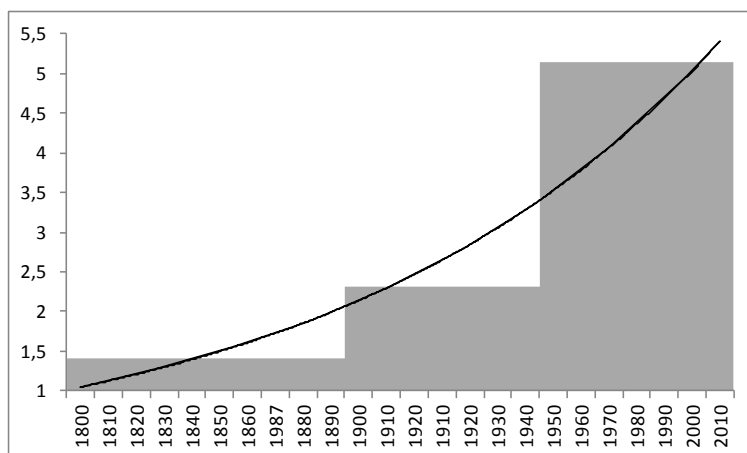


Figura Ch.11b. Llanura del Nordeste. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres datos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,64; CC-DD: 2,22; AA-DD: 3,64.

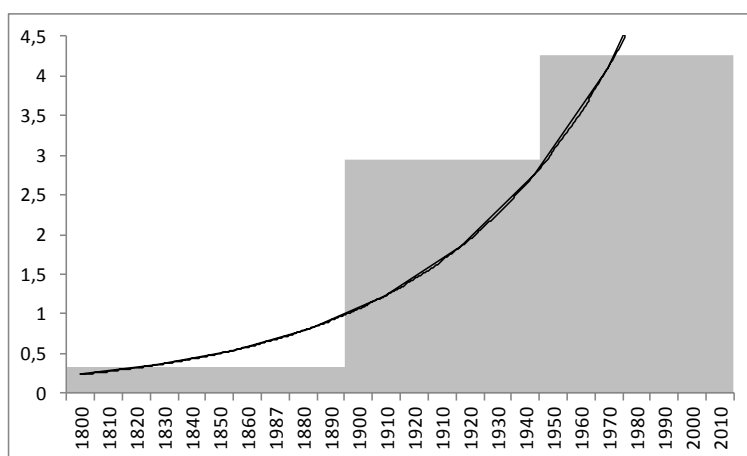


Figura Ch.12a. Llanuras del Norte y Cuenca del río Amarillo. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 8,64; CC-DD: 1,45; AA-DD: 12,54

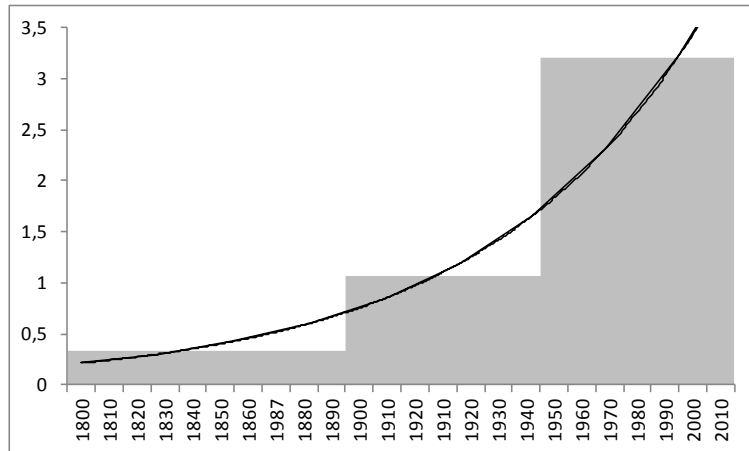


Figura Ch.12b Llanuras del Norte y Cuenca del río Amarillo. Tasas medias de sedimentación para el punto con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,12; CC-DD: 3,02; AA-DD: 9,43

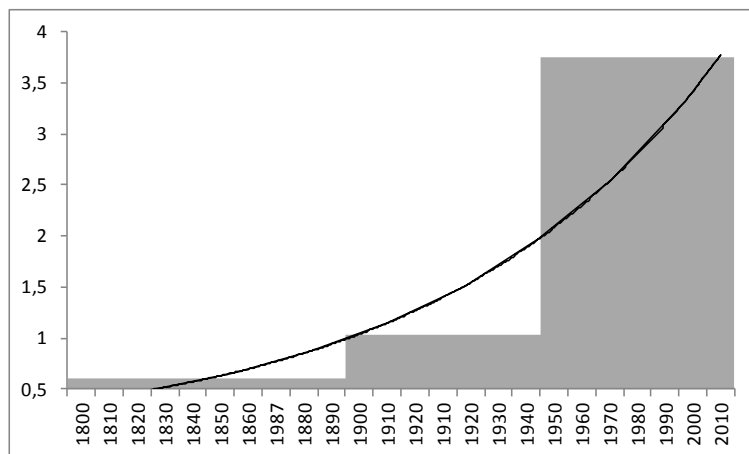


Figura Ch.13a. Tierras altas del Tibet y Mongolia. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,71; CC-DD: 3,63; AA-DD: 6,21.

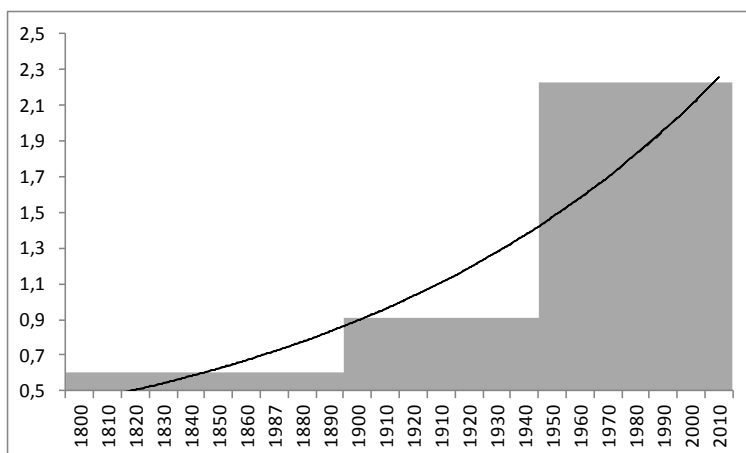


Figura Ch.13b. Tierras altas del Tibet y Mongolia. Tasas medias de sedimentación para los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,50; CC-DD: 2,46; AA-DD: 3,69.

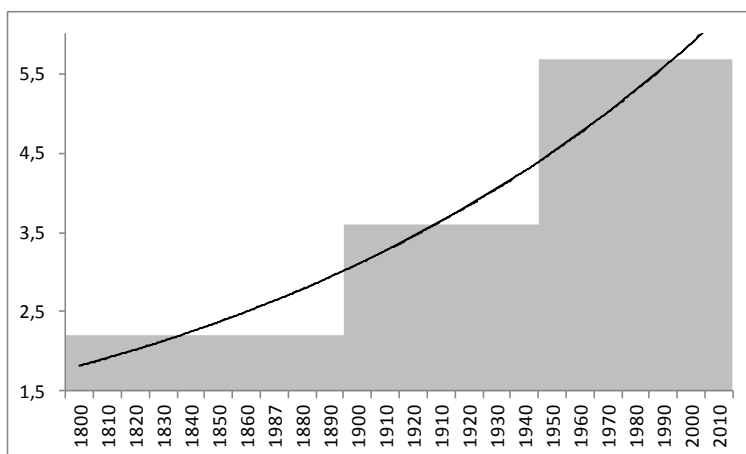


Figura Ch.14a. Montañas del Sur y cuenca del río Yangtze. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,63; CC-DD: 1,58; AA-DD: 2,58.

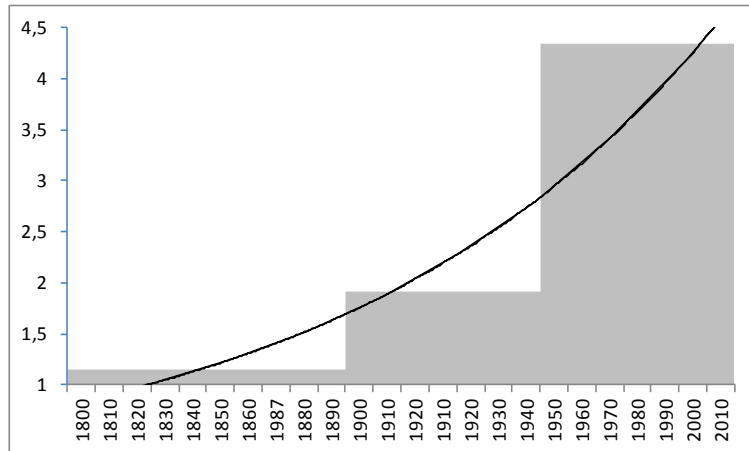


Figura Ch.14b. Montañas del Sur y cuenca del río Yangtze. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. Factores de aumento; AA-CC: 1,67; CC-DD: 1,82; AA-DD: 3,05.

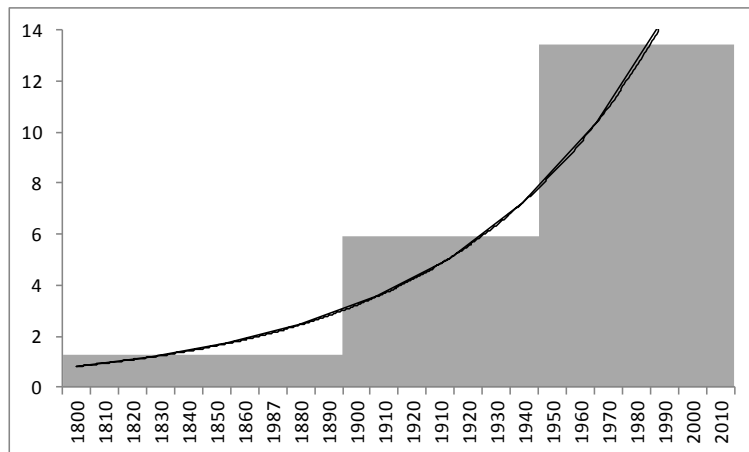


Figura Ch.15a. Cuenca Este Deltas y Prodeltas. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 4,69; CC-DD: 2,28; AA-DD: 10,66.

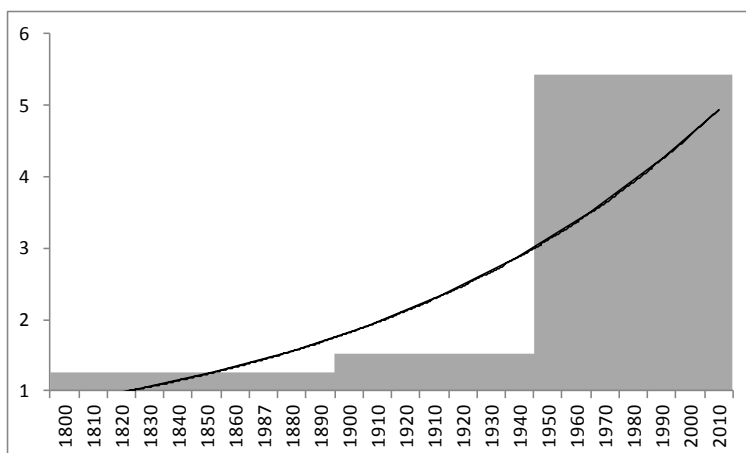


Figura Ch.15b. Cuenca Este Deltas y Prodeltas. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,20; CC-DD: 3,59; AA-DD: 4,30.

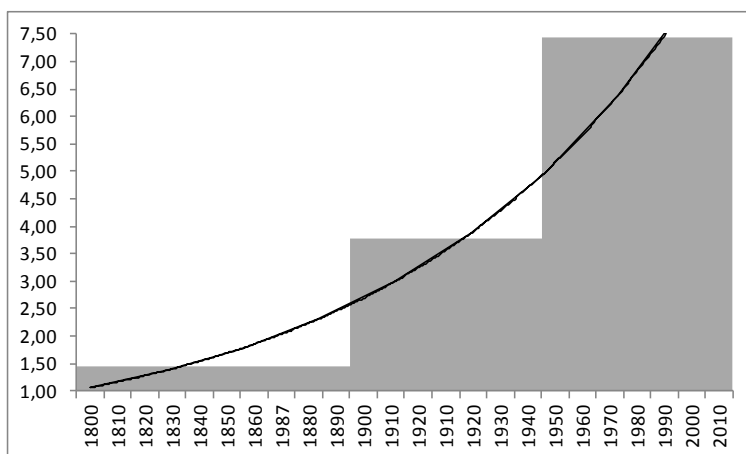


Figura Ch.16a. China. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,59; CC-DD: 1,97; AA-DD: 5,09.

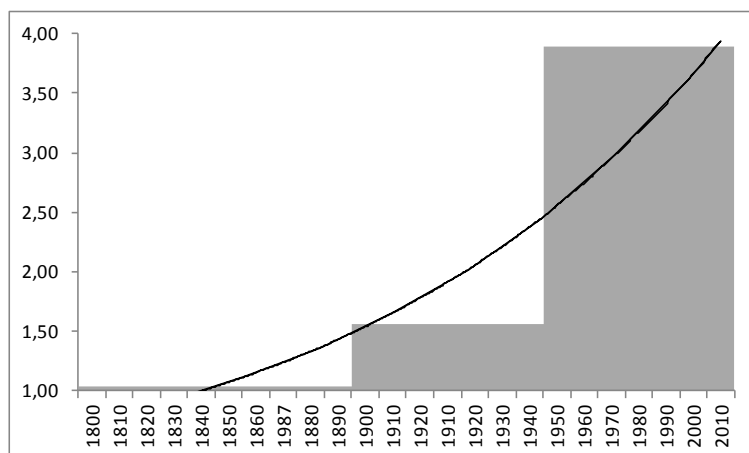


Figura Ch.16b. China. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. Factores de aumento; AA-CC: 1,51; CC-DD: 2,49; AA-DD: 3,77.

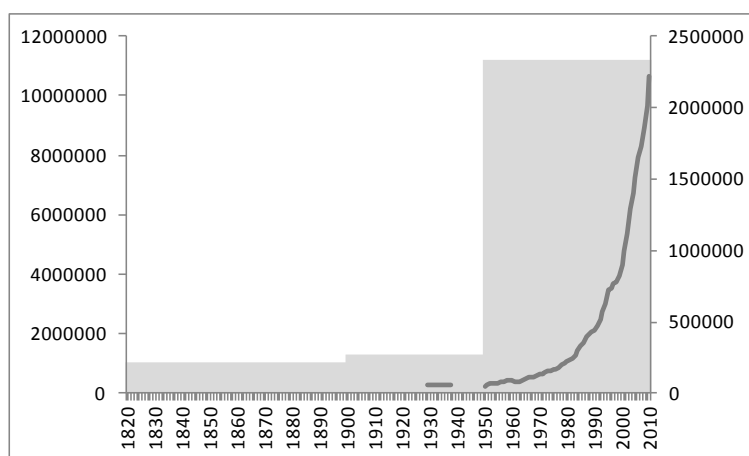


Figura Ch.17. China. Evolución del PIB. (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 1,25; CC-DD: 8,54; AA-DD: 10,72.

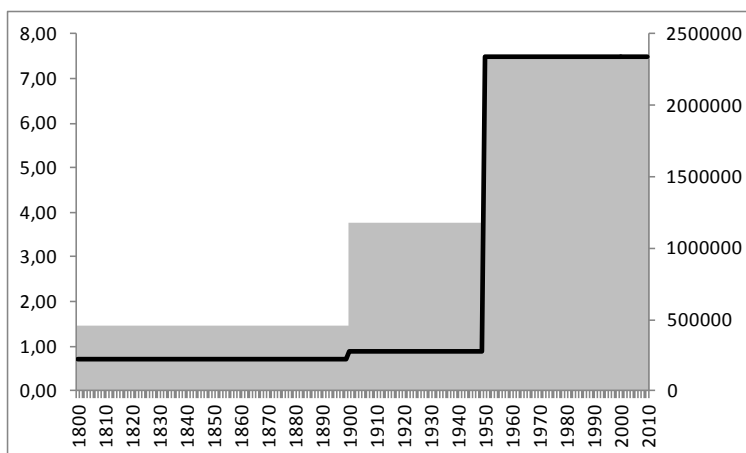


Figura Ch.18a. China. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB.

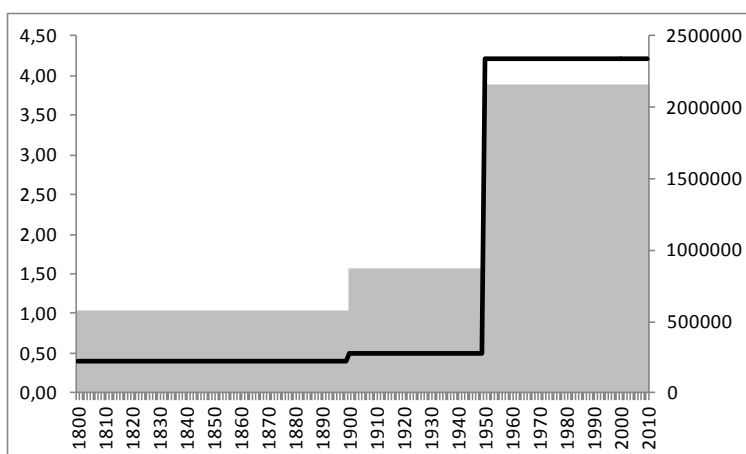


Figura Ch.18b. China. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

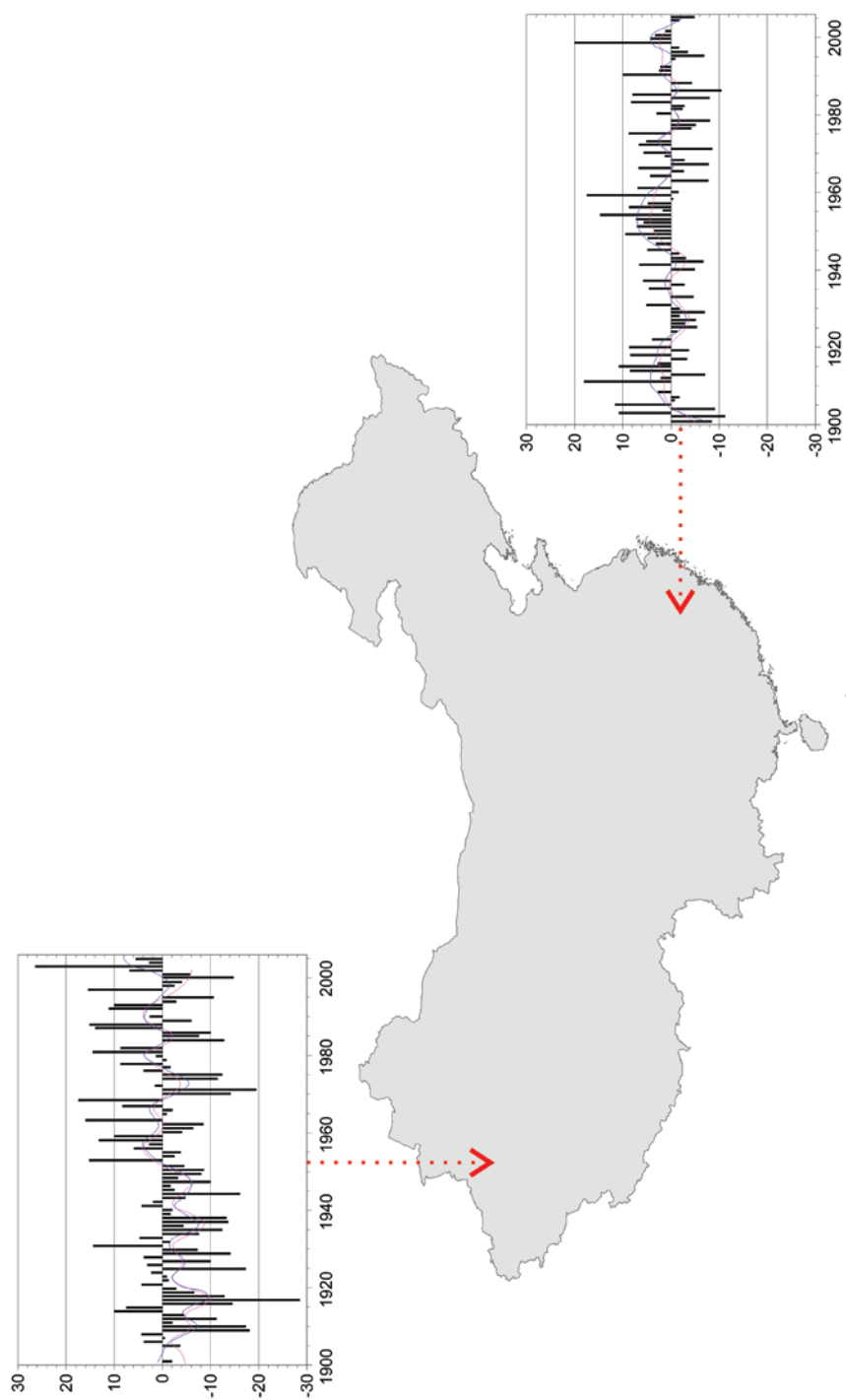


Figura Ch.19. Desvíos sobre la precipitación media anual (en %) 1900-2005, en Centro y Este de Asia. IPCC (2007).

3.2.2. India

Introducción

India es un subcontinente con una extensión de 3.287.000 km², una población que supera los 1200 millones de habitantes, y una considerable diversidad desde el punto de vista fisiográfico y climático (World Atlas; www.worldatlas.com/). Se pueden diferenciar en el conjunto país seis grandes regiones fisiográficas, sin contar las islas (www.indiaonline.in/). El clima general del país es de tipo monzónico, con régimen de precipitaciones controlado por la alternancia estacional de los vientos.

Las montañas del N, formadas por el Himalaya y otras cadenas, como Siwalik, Karakom y Patkai, con alturas que superan los 8000 m, separan el país de Nepal y Tibet. Es, lógicamente, una región de clima muy frío, poco poblada y con una gran actividad de los procesos geomorfológicos. *Las llanuras del Indo y el Ganges* abarcan las zonas N y E del país y están constituidas esencialmente por los acarreo aluviales de los citados ríos. Llegan hasta la costa, en la cual ambos ríos forman amplios deltas. El clima favorable, la calidad de los suelos y su capacidad de uso agrícola han sido la causa de que la agricultura se desarrolle muy ampliamente, lo que, desde hace tiempo, ha dado lugar a que se asiente en la zona una altísima densidad de población. *El desierto de Thar* cubre la mayor parte de Rajastan y estados circundantes, contiene tanto desierto arenoso como rocoso. Tiene muy baja precipitación y un único río que lo cruza, el Luni. La vegetación es escasa, fundamentalmente arbustiva, lo que, unido a la naturaleza arenosa de los suelos, ha dado lugar a una importante erosión eólica. En los años sesenta se acometieron acciones para atajar este problema, construyendo canales de irrigación y la plantación de distintas especies. *Las tierras altas del centro* están constituidas por tres mesetas y las montañas que las circundan. La mayor es la gran meseta basáltica del Decan, ubicada en la parte S, entre las cordilleras de los Ghats Orientales y Occidentales. La meseta de Malwa se sitúa hacia el NW, adyacente a los Ghats occidentales, y la de Chota Nagpur hacia el NE, junto a los Ghats orientales. El clima es árido y semiárido en la parte W y NW de la región, y mixto o templado en la zona central. *Las llanuras costeras del E y el W*, como su nombre sugiere, bordean ambas costas. La llanura E se ubica entre la cadena de los Ghats orientales y la costa, extendiéndose desde el extremo S del país hasta la zona de Calcuta, cerca del límite con Bangla Desh. Es una zona de clima cálido, húmedo y con lluvias frecuentes. Por su parte, la llanura W se encuentra al pie de los Ghats occidentales,

bordeando la costa Malabar y abarcando desde el límite con Pakistán hasta el extremo S, donde se une a la anterior. Tiene, al igual que esta, un clima cálido y húmedo, con frecuentes y copiosas lluvias. La densidad de población en estas llanuras costeras es la más elevada del país, solamente superada por las llanuras del Indo y el Ganges, y en ellas se ubican numerosas aglomeraciones urbanas de considerables dimensiones. Ambas llanuras están cruzadas por numerosos ríos, que en varios casos forman deltas.

Distribución de los datos obtenidos

Se han obtenido datos correspondientes a 92 lugares, cuya distribución se muestra en la figura In.0. Se observa en la figura que la distribución espacial de los datos es muy irregular, concentrándose principalmente en las zonas más pobladas, como era de esperar. Los resultados obtenidos se resumen en la tablas In.1 a-5 a y In.1 b-5 b.

Análisis de los datos por ambientes de sedimentación

Los resultados correspondientes a los ambientes considerados se presentan en las tablas In.1a-5 a (resumen de datos) e In.1b-5 b (cálculo de promedios), gráficas In.1-5, y figuras In.1-5. Los lugares con datos se agrupan en cinco tipos de ambientes de sedimentación:

1. Lagos: 44.
2. Depósitos en planicies de inundación: 17.
3. Reservorios: 12.
4. Lagunas costeras: 12.
5. Bahías y estuarios: 7.

En el caso de los *reservorios artificiales* (tablas In.3 a y In.3 b) formados por la construcción de represas, solamente se tienen datos para el último periodo considerado (DD), por lo que no se puede conocer la evolución temporal de las tasas de sedimentación en los mismos. Los datos para las *planicies de inundación* (tablas In.2 a y In.2 b) y para las *bahías y estuarios* (tablas In.5 a y In.5 b) solo han permitido discriminar

las tasas para los dos últimos periodos considerados (CC y DD). Sí que se han podido obtener datos sobre tasas para los tres periodos en el caso de las *lagunas costeras* (tablas In.4 a y In.4 b) y de los *lagos* (tablas In.1 a y In.1 b). Estos últimos engloban la mitad de los datos obtenidos para todo el país.

Los datos correspondientes a *lagos* (tablas In.1 a y In.1 b y Fig. In.1) son especialmente significativos, dado el alto número de los mismos y su amplia distribución geográfica. Se aprecia (Fig. In.1 a) que el promedio de las tasas de sedimentación aumentó entre el periodo AA y el CC (factor de aumento 1,24), y de manera más acusada todavía en el periodo DD (factor de aumento DD/AA, 1,95). Si se toman solamente los puntos con tres datos temporales (Fig. In.1 b), los factores de aumento son 1,38 para CC/AA y 1,78 para DD/CC, revelando una aceleración del crecimiento de las tasas durante la segunda mitad del pasado siglo. El factor de aumento para el conjunto del periodo cubierto (DD/AA), es también más alto en este caso.

La tendencia general es muy similar en el otro caso en el que se tienen datos para los tres periodos considerados, las *lagunas costeras* (tablas In.4 a y In.4 b y Fig. In.4). En estas lagunas hay un número de lugares en los cuales no se ha podido discriminar entre los periodos CC y DD, por lo que se tiene un único periodo (BB, desde 1900). Los promedios y los factores de aumento se han calculado (y representado en las figuras correspondientes) de dos maneras, utilizando todos los datos y asignando los valores del periodo BB al CC (tabla In.4 b2 y Fig. In.4 a), lo que arroja unos factores de aumento de AA/CC: 5,82; CC/DD: 1,50; AA/DD: 8,73, y utilizando solamente los puntos que cuentan con tres datos temporales (Fig. In.4 b). En este caso los factores de aumento que se obtienen son: AA/CC: 2,57; CC/DD: 2,91; AA/DD: 7,47. Esto es, en ambos casos se observa un aumento de las tasas en cada periodo, mucho más marcado cuando se toma solamente los puntos con tres datos.

En las *planicies de inundación* (tabla In.2 b y Fig. In.2), con datos solamente para dos periodos, se tiene un factor de multiplicación de 2,61 del periodo más reciente (DD) con respecto al anterior (CC). Ese factor es bastante más bajo (1,67) en el caso de las bahías y estuarios (tabla In.5 b y Fig. In.5).

Análisis por cuencas o áreas geográficas.

Como en el caso de China, para el análisis de los datos por áreas geográficas se han agrupado los datos de acuerdo con las grandes regiones fisiográficas. Los resultados obtenidos para las distintas áreas geográficas se presentan en la Tablas In.6 b – In.10 b y las figuras In.6 – In.10. Como se ha comentado en relación con China, no se presentan las tablas In.6 a – In.10 a, porque la información básica sobre los lugares con datos se contiene en la tablas In.1 a – In.5 a, anteriormente presentadas. La irregular distribución espacial de los datos ha dado lugar a que solamente dos de las agrupaciones resultantes presenten datos que permitan el análisis de las tendencias.

En la montañas del N se dispone de datos para 40 puntos (tabla In.6 b y Fig. In.6), pero solamente dos de ellos presentan datos para dos periodos (CC y DD). Tanto si se utilizan todos los datos (Fig. In.6 a), como si se emplean solamente los dos puntos con valores para los dos periodos (Fig. In.6 b), se aprecia que hay aumento de las tasas de sedimentación, que aproximadamente se duplicaron en el periodo DD con respecto al anterior.

En las tierras altas del centro se han separado los datos de la meseta del NW (tabla In.7 b y Fig. In.7) de las del resto (meseta peninsular, tabla In.9 b y Fig. In.9). Los 14 puntos del primero cuentan solo con datos para el periodo DD, por lo que no es posible determinar las tendencias. Por el contrario, en la meseta peninsular, que se sitúa más al S y ocupa la mayor parte de esa unidad, hay otros 14 puntos con datos que sí permiten identificar las tendencias (tabla In.9 b y Fig. In.9). Se observa un claro aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo. Si se consideran los promedios para todos los datos (Fig. In.9a), los factores de aumento de las tasas son 3,27 para el paso de AA a CC y de 2,62 para CC-DD. Si como en otros casos, se consideran solamente los puntos con datos para los tres lapsos temporales (Fig. In.9 b), dichos factores de aumento son, 1,39 y 1,78, respectivamente. Esto es, habría una aceleración en el último periodo. Es interesante observar que el promedio de las tasas de sedimentación en esta zona, en la segunda mitad el siglo XX, es muy elevado. Es posible que esto refleje que la zona está muy densamente poblada. De hecho, de las zonas del interior de la India es la de mayor densidad de población después de la llanura del Ganges.

En la Planicie del Ganges (tabla In.8 b y Fig. In.8), tampoco es posible determinar tendencias, pues los cuatro puntos de la misma tienen solamente el dato del último periodo. También aquí las tasas de sedimentación tienen valores muy elevados en el más reciente de los

periodos considerados, el mayor promedio de todas las regiones analizadas. Esto posiblemente refleja la intensa transformación que la cuenca de este río, muy densamente poblada, ha experimentado en las últimas décadas, lo que debe haber dado lugar a la generación de gran cantidad de sedimento.

Por último, en los depósitos de tipo costero a lo largo del litoral oriental (tabla In.10 b y Fig. In.10), se cuenta con datos para 20 lugares, que hacen posible la determinación de tendencias. Los promedios obtenidos utilizando todos los datos (Fig. In.10 a), ponen de manifiesto un aumento de las tasas con el tiempo, y un factor de aumento bastante mayor para AA-CC (5,61) que para CC-DD (1,24). Si, como en casos anteriores, el análisis se realiza solamente para los puntos que cuentan con datos para los tres lapsos temporales (Fig. In.10 b), dichos factores de aumento serían, respectivamente, 2,57 y 2,9, mostrando una aceleración en el último periodo. También sería mayor el factor de aumento para el conjunto del periodo AA-DD.

Síntesis del conjunto.

La imagen que se extrae de los datos que se han recopilado y comentado más arriba, coincide con lo señalado por diversos autores que han estudiado los procesos de erosión/sedimentación en el país. Según Kumar (1997, 2007), en lagos ubicados en las tierras altas del norte y centrales y meseta peninsular, las tasas de sedimentación se sitúan entre 1 y 16 mm/año, mayormente ubicadas entre 5 y 10. En estos ambientes, informaron aumentos en las tasas de sedimentación recientes (últimas 3-5 décadas), marginalmente superiores a las tasas históricas. Sin embargo, Humane et al (2016) y Choudary et al (2013), en las tierras altas del norte y meseta peninsular, en lagos ubicados en entornos particularmente afectados por la intensificación de las actividades humanas, informaron tasas de sedimentación para el período posterior a la segunda mitad del pasado siglo, que se corresponden con factores de aumento comprendidos entre 1,5 y 3.

En la planicie de inundación del río Krishna, dentro de la meseta peninsular, Ramesh et al (1988), señalaron que las tasas de sedimentación para el período reciente se ubican en promedio para el conjunto de la cuenca en 5,5 mm/año, y resultan superiores a la tasa media de erosión que alcanza a 0,17 mm/año, lo que podría explicarse por la activación de procesos de erosión de márgenes.

En la llanura del Ganges, la intensificación de las actividades humanas tales como deforestación, agricultura, ganadería, construcción de infraestructuras y expansión urbana, ha producido un aumento en las tasas de erosión en planicies de inundación y márgenes de cursos fluviales, que se corresponden con elevadas tasas de sedimentación situadas entre 22,5 y 35,5 mm/año (Saxena et al, 2002). Coherentemente, Chakrapani & Subramanian (1993), informaron en la cuenca del río Mahanadi, comprendida en la meseta peninsular, elevadas tasas de sedimentación debidas a la intensificación de las actividades humanas, que se ubican en promedio en 20,39 mm/año y en casos alcanzan a más de 90 mm/año. Los factores de aumento estimados entre los períodos anterior y posterior a la segunda mitad del pasado siglo se ubicarían entre 2 y 13.

En lagunas costeras de la costa Este, Ramesh et al (2002), encontraron tasas de sedimentación entre 8 y 18 mm/año, que se atribuyen a la intensificación de las actividades humanas, aunque no se presentan datos que permitan discriminar los períodos anterior y posterior a la segunda mitad del siglo XX. En lagunas costeras ubicadas en el delta del río Cauvery en la costa este, Javaprakash et al (2015), informaron elevadas tasas de sedimentación, y una aceleración a partir de la década de 1950, con un factor de aumento entre 1,6 y 5.

En resumen, aunque los datos disponibles para los ambientes analizados y las distintas regiones son escasos y no permiten caracterizar la evolución temporal en la mayoría de ellos, se pueden extraer algunas conclusiones. La primera es que tanto en los ambientes como en las regiones sobre los que hay datos, hay un inequívoco aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo. Si el análisis se lleva a cabo utilizando solamente los puntos que presentan datos para todos los periodos considerados, se pone de manifiesto que las tasas no solo aumentan, sino que ese aumento se incrementa en tiempos recientes.

Las tasas de sedimentación promedio durante el último periodo analizado oscilan entre 6,19 y 27,98 mm/ año en las distintas regiones. Los valores claramente más altos se dan en la llanura del Ganges y en la meseta peninsular de las tierras altas, que son precisamente las dos grandes regiones más densamente pobladas. En lo que se refiere a los factores de aumento para todo el periodo cubierto (AA-DD) varían entre 2 y 8,58, pero solamente se han podido obtener para tres regiones. El valor más alto corresponde a la meseta peninsular. Aventurar explicaciones sobre las posibles relaciones entre estos datos y las actividades humanas requiere más datos que los hasta ahora recabados, y un análisis más

profundo. Al igual que en el caso de China, no es ilógico (aunque esté lejos de estar probado) pensar que eso refleja una relación entre la magnitud y ritmo de cambio de las tasas de sedimentación y la densidad de población (equivalente, en principio, a intensidad y extensión de la transformación del territorio por causa de la “human geomorphic pressure” de Bruschi et al., 2013).

Si se analizan los promedios para el conjunto del país (Fig. In.11), sigue poniéndose de manifiesto el aumento de las tasas de sedimentación en los tres periodos. Si el cálculo se hace con todos los datos (Fig. In.11 a), parece haber una reducción de ritmo de aumento en el último periodo, pero si el análisis se hace solamente con los puntos para los que hay tres datos temporales (Fig. In.11b), se aprecia una clara aceleración, con factores de aumento crecientes.

Por su parte, los datos de PIB (Fig. In.12) muestran, como en el caso de China, un aumento muy marcado a partir de los años 70. También como en China, la comparación entre tasas de sedimentación y PIB para los tres periodos muestra la similitud entre ambos. La semejanza es menor cuando se toman las tasas promedio de todos los puntos (Fig. In.13 a), que cuando se toman solamente los que tienen datos para los tres lapsos temporales (Fig. In.13 b). Los factores de aumento de ambas variables, para el conjunto del periodo analizado, se aproximan bastante, 4,88 – 4,38 para las tasas de sedimentación y 6,8 para el PIB. Como en el caso de China, el crecimiento del PBI ha sido mayor que el de las tasas de sedimentación.

Nuevamente, la comparación con los datos relativos a la evolución de las precipitaciones (figura In.14; IPCC, 2013), pone de manifiesto la falta de correspondencia con la variación de las tasas de sedimentación. En esta zona del S de Asia se aprecia una tendencia general a la reducción de las lluvias.



Figura In.0. INDIA. Ubicación de los puntos con datos.

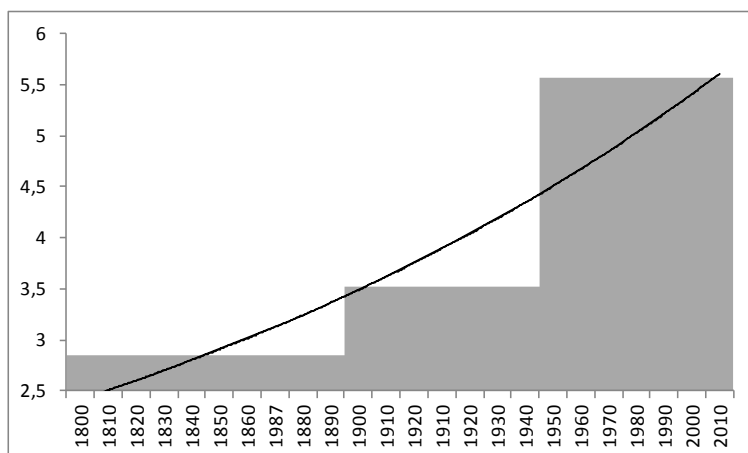


Figura In.1 a.Lagos. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,24; CC-DD: 1,58; AA-DD: 1,95.

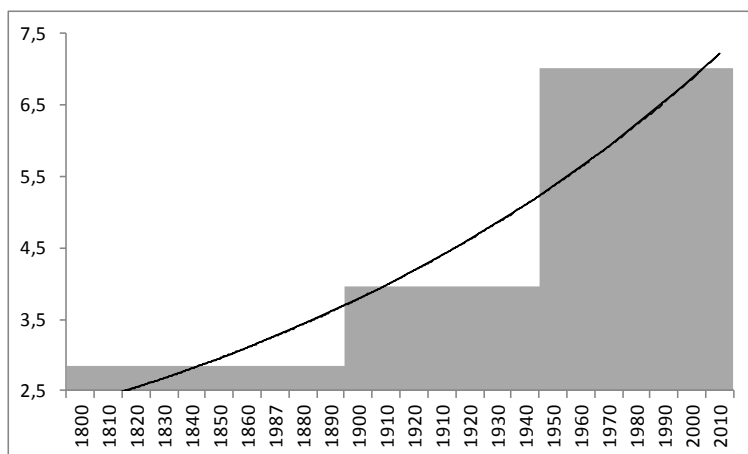


Figura In.1 b. Lagos. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,39; CC-DD: 1,78; AA-DD: 2,46.

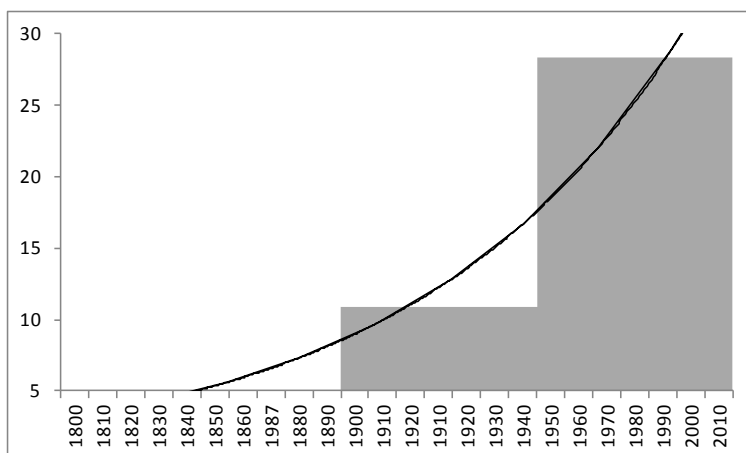


Figura In.2 Depósitos en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 2,61.

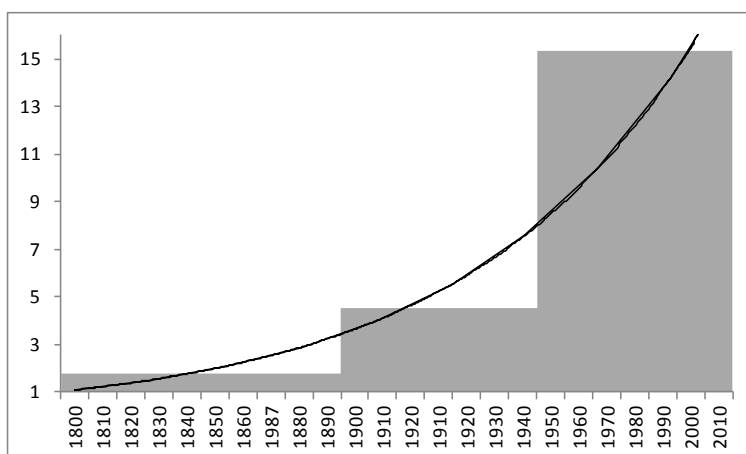


Figura In.4 a. Lagunas Costeras. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 5,82; CC-DD: 1,50; AA-DD: 8,73

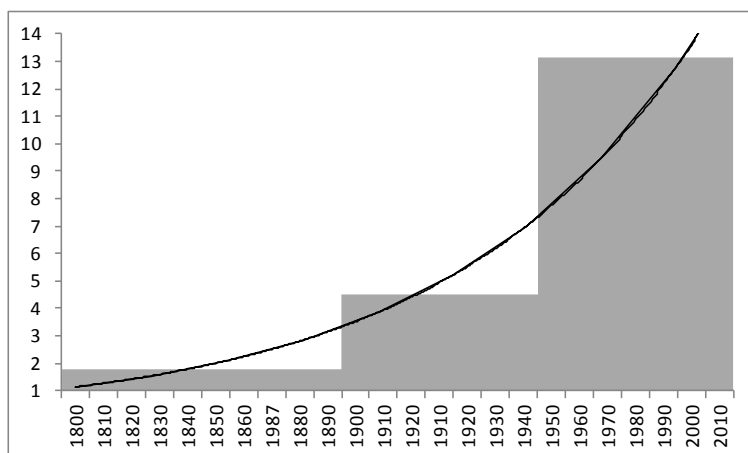


Figura In.4 b. Lagunas Costeras. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,57; CC-DD: 2,91; AA-DD: 7,47

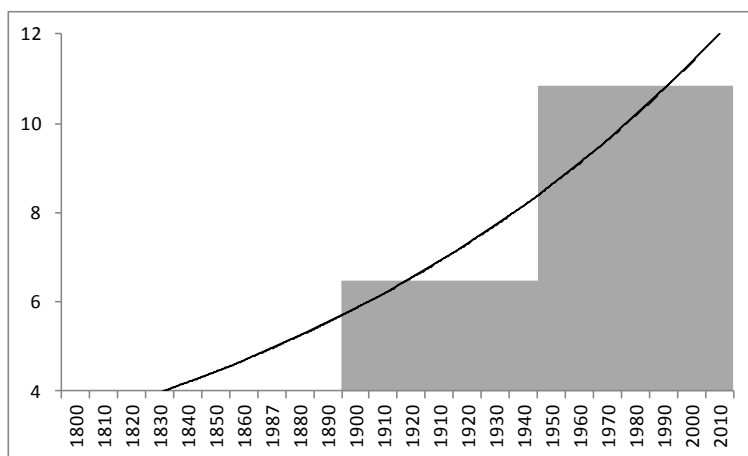


Figura In.5. Bahías y Estuarios. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 1,67.

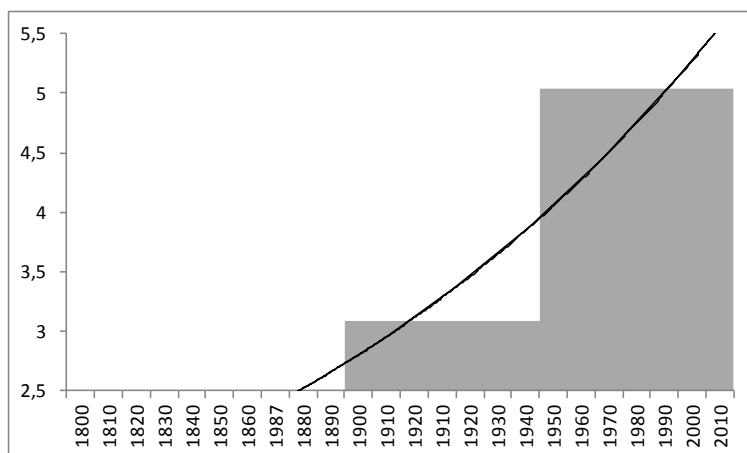


Figura In.6 a. Montañas del Norte. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 1,63.

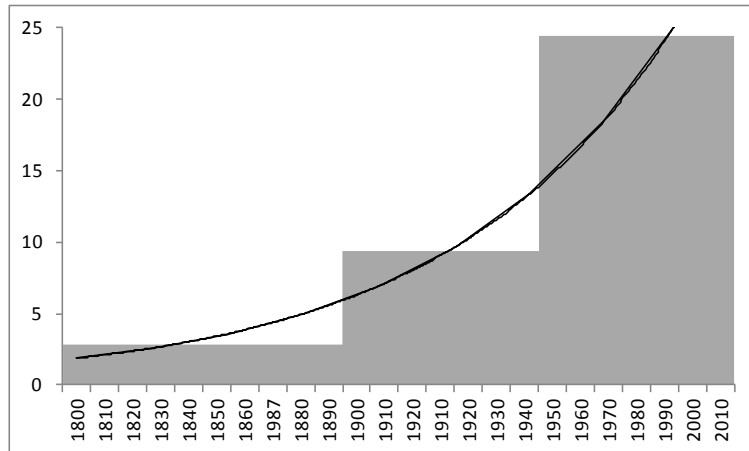


Figura In.9 a. Meseta Peninsular. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,27; CC-DD: 2,62; AA-DD: 8,58

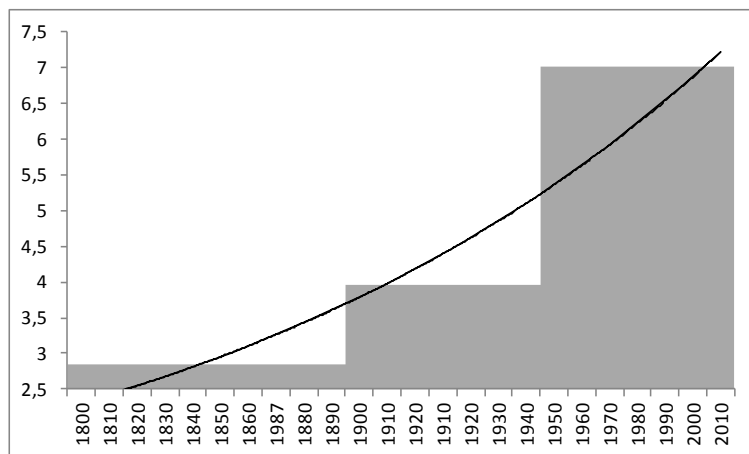


Figura In.9 b. Meseta Peninsular. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,39; CC-DD: 1,78; AA-DD: 2,46.

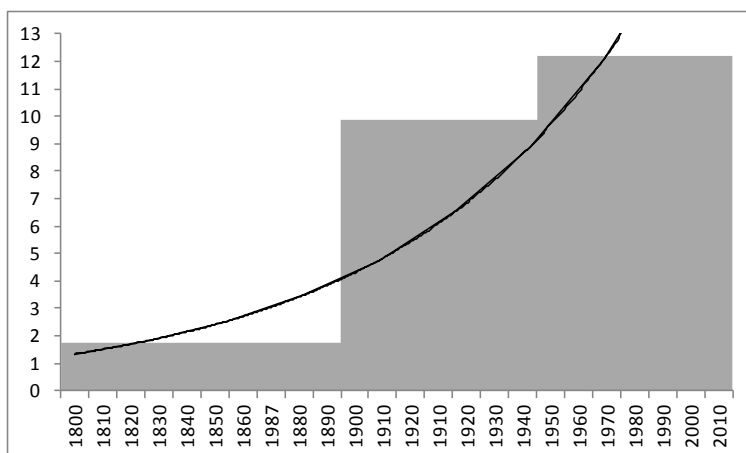


Figura In.10 a. Costa Este. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 5,61; CC-DD: 1,24; AA-DD: 6,94.

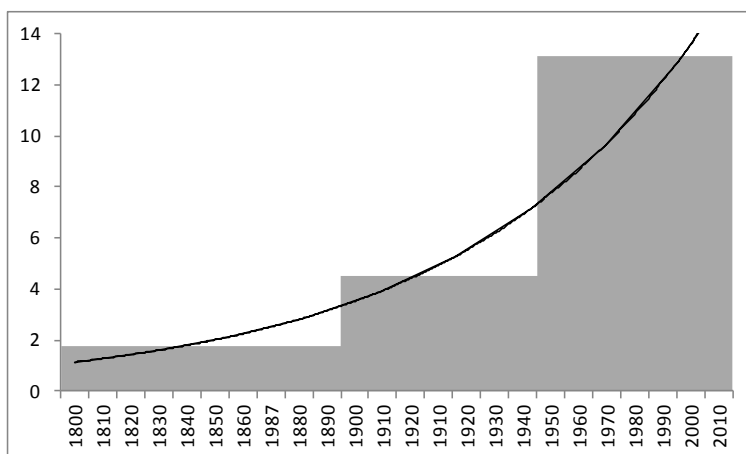


Figura In.10 b. Costa Este. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,57; CC-DD: 2,91; AA-DD: 7,47.

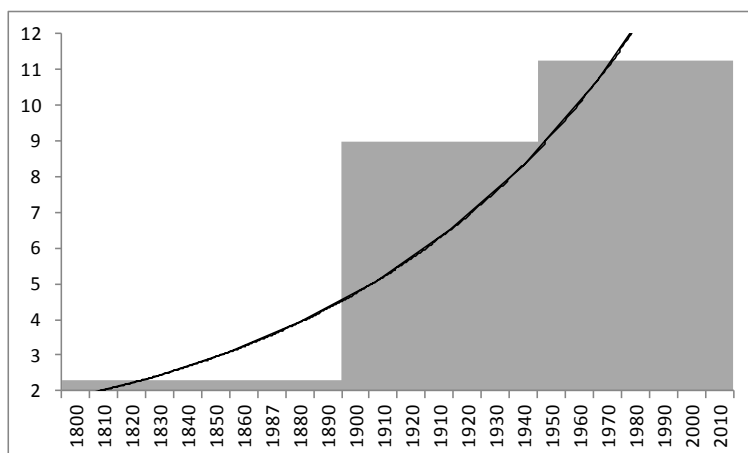


Figura In.11 a. India. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,90; CC-DD: 1,25; AA-DD: 4,88.

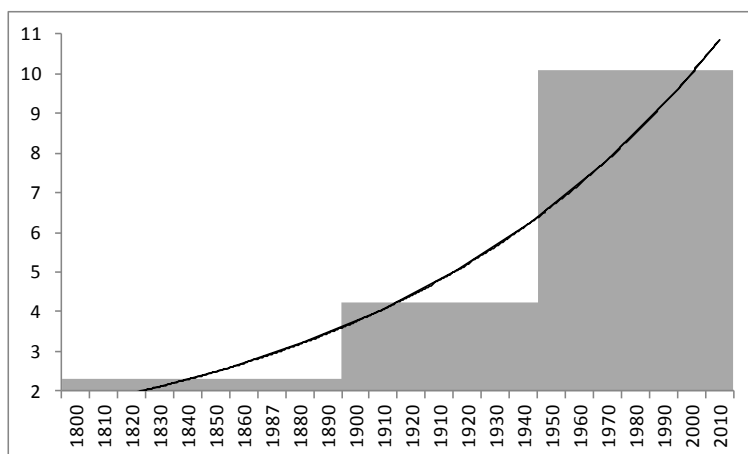


Figura In.11 b. India. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,84; CC-DD: 2,38; AA-DD: 4,38.

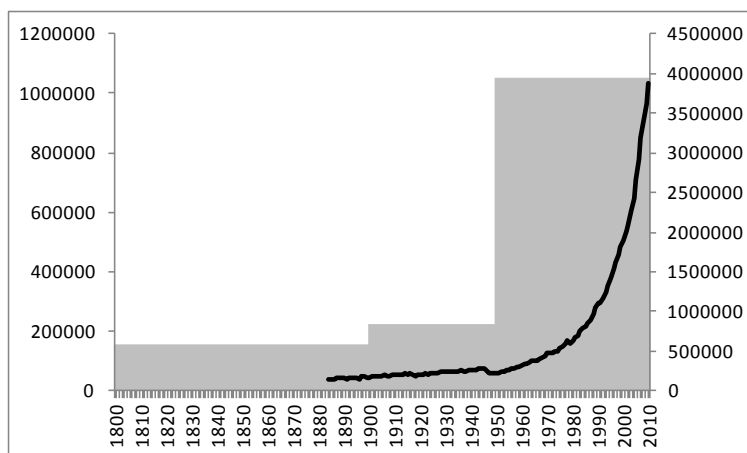


Figura In.12. India. Evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 1,45; CC-DD: 4,70; AA-DD: 6,80.

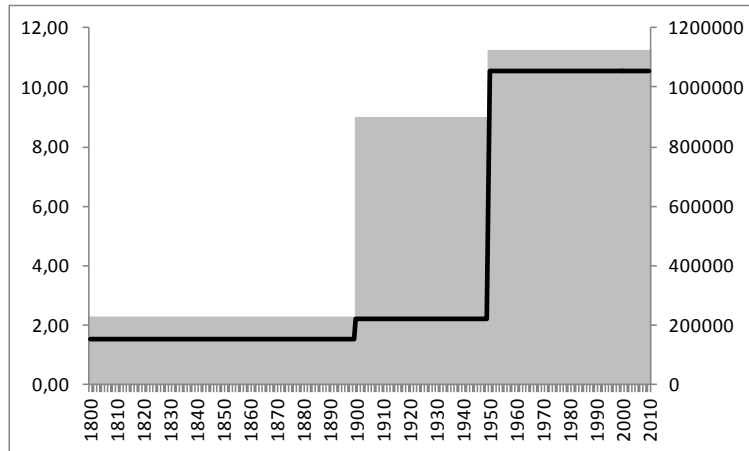


Figura In.13 a. India. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB.

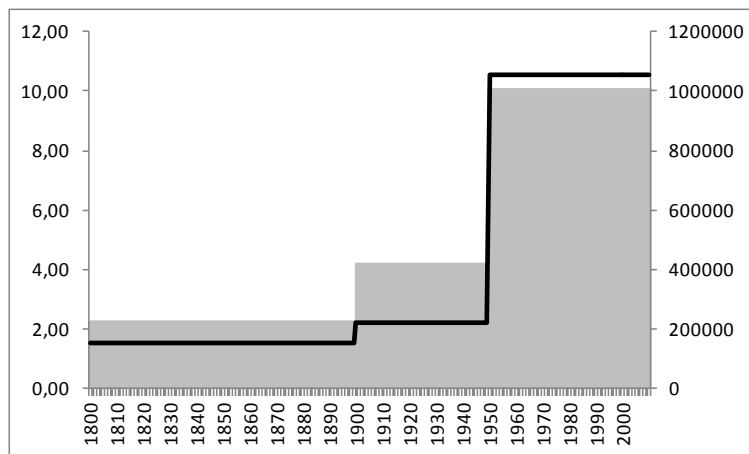


Figura In.13 b. India. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

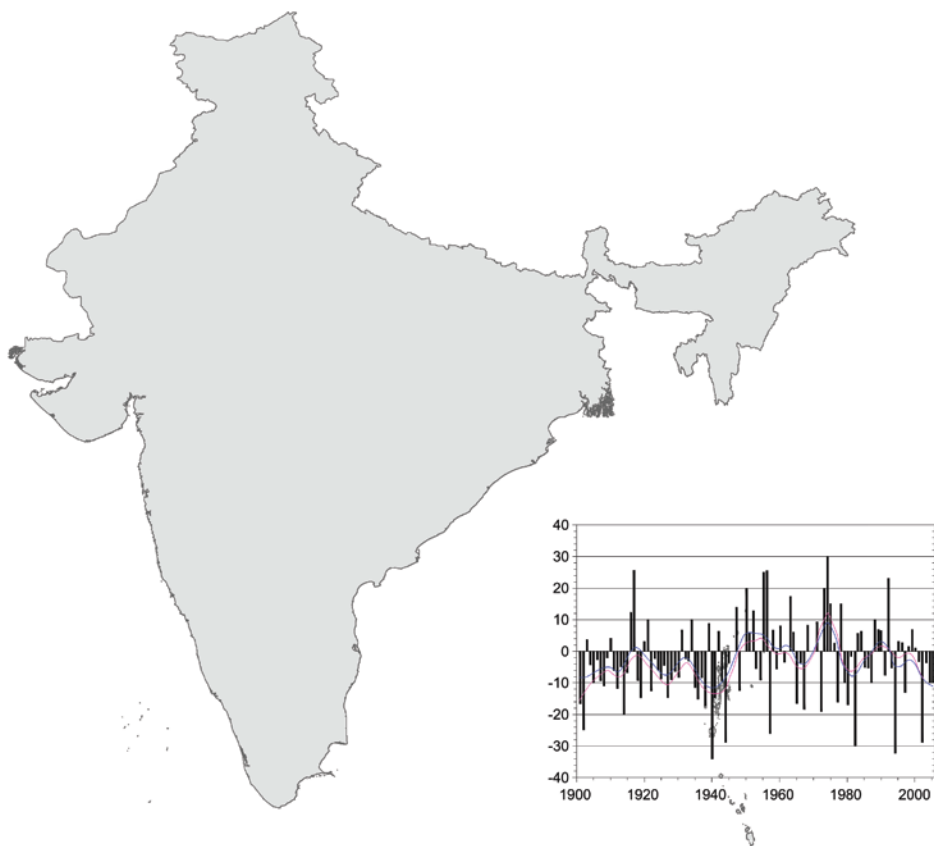


Figura In.14. Desvíos sobre la precipitación media anual (en %) 1900-2005, en el Sur de Asia. IPCC.

3.2.3. Estados Unidos.

Introducción.

Estados Unidos tiene una superficie continental de 9.147.420 km², y una población de 324.118.000 habitantes (datos de 2016). En Estados Unidos (Stein, 2008; US National Atlas, 2014). se pueden distinguir seis grandes regiones naturales (sin considerar el relativamente pequeño macizo de Ozark, al SE de las grandes llanuras centrales, ni Alaska), que se distribuyen *grosso modo* en forma de franjas de traza N-S. Estas regiones están determinadas por las costas y las grandes cordilleras de la Montañas Rocosas y los Apalaches, las cuales, a su vez, condicionan el clima. Son las siguientes: Costa pacífica, mesetas intermontanas occidentales, Montañas Rocosas, llanuras centrales, “Appalachia”, llanuras de la costa atlántica, las tres primeras constituyen el W del país, y las tres restantes el centro y el E.

La región de la *costa pacífica* se sitúa entre las cadenas montañosas occidentales (Sierra Nevada en la parte S y Cadena de Cascades en la parte N) y el litoral. Es una región con relieves acusados y procesos geológicos muy activos. El clima varía desde cálido y seco o semiárido en la parte S hasta templado húmedo y frío húmedo hacia el N. La densidad de población es elevada, existiendo varias grandes áreas urbanas (Los Ángeles, San Francisco, Seattle, etc.) que han experimentado un considerable crecimiento en las últimas décadas. Las *mesetas intermontanas occidentales* se localizan entre las cadenas montañosas del W y los grandes relieves de las Montañas Rocosas, e incluyen la Meseta del Colorado y grandes fosas como “The Great Basin” o el Valle de la Muerte. Son una amplia zona desértica o semiárida, que contiene desiertos como los de Great Basin, Mojave, Valle de la Muerte o Sonora. La densidad de población es, lógicamente, baja. Las *Montañas Rocosas*, aunque con altitudes que no llegan a 4500 m, forman la espina dorsal de Norteamérica, y se extienden desde México hasta Canadá. En realidad, se trata de una serie de sierras discontinuas con relieves en general no demasiado abruptos, entre las que se ubican numerosos valles y fosas, con clima que varía desde cálido y seco en el S a frío y seco en el N. La densidad de población es también baja.

Continuando hacia el E se encuentran las *llanuras centrales* (Great Plains), un área de relieve muy suave, cuya elevación va desde menos de 100 m cerca del río Mississippi hasta más de 1000 m, hacia el W, cerca de

la cordillera. Estas llanuras forman la mayor parte de la cuenca del Mississippi. Originalmente cubiertas por praderas, actualmente son una extensa zona dedicada predominantemente a agricultura intensiva. Su clima es templado húmedo en la parte S y pasando a frío húmedo hacia el N. La densidad de población varía desde baja en la parte occidental a media-alta en la oriental. La naturaleza de los suelos hace esta zona muy sensible a la erosión, como se puso de manifiesto en los años treinta del pasado siglo, durante el episodio del “Dust Bowl”, causado por prácticas agrícolas inadecuadas. La región de *Appalachia*, término que tiene un significado más cultural que fisiográfico, está formada por la otra gran cadena montañosa del país, los Apalaches, y su continuación hacia los territorios del NE, incluyendo Nueva Inglaterra. Las elevaciones de esta cordillera sobrepasan ligeramente los 2000 m, siendo la mayor parte del territorio circundante de relieves suaves. Originalmente cubierta en gran parte de bosques caducifolios, estos se conservan fundamentalmente en la zona de Nueva Inglaterra. El clima es frío húmedo en la parte N pasando a templado húmedo en la zona S, en ambos casos con veranos que pueden ser calurosos. La densidad de población es bastante elevada. Por último, las *llanuras de la costa atlántica*, se extienden desde Nueva Inglaterra hasta la frontera con México. La elevación en general no supera unos cientos de metros, y el terreno está constituido sobre todo por acarrees aluviales, del Mississippi en el Golfo de México y de los ríos que drenan hacia la costa atlántica al N de Florida. El clima es predominantemente templado húmedo con veranos calurosos, llegando a subtropical húmedo en la zona de Florida. La densidad de población es en conjunto muy alta, presentando grandes aglomeraciones urbanas como la del entorno de Houston, el S de Florida o la “megalópolis” de Boston-N. York-Filadelfia-Washington.

Distribución de los datos obtenidos

En el conjunto de Estados Unidos, incluyendo Alaska, se dispone de datos sobre un total de 415 lugares, cuya distribución se muestra en la figura US.0. Para realizar el análisis, los resultados obtenidos se han agrupado en nueve tipos de ambientes de sedimentación:

1. Lagos: 91.
2. Depósitos en planicies de inundación: 35.
3. Depósitos en cauces fluviales: 6.

4. Humedales en planicies de inundación: 6.
5. Humedales y lagunas costeras: 35.
6. Reservorios: 130.
7. Deltas y prodeltas en ambientes estuarinos y depósitos en costas adyacentes a la boca de grandes ríos: 39.
8. Bahías y estuarios: 36.
9. Depósitos en plataformas continentales: 37.

Según se desprende de los datos anteriores, el número de datos es considerable en la mayoría de los ambientes, salvo en el caso de los depósitos en cauces fluviales y en humedales en planicies de inundación, en los que los datos son relativamente escasos. Para todos los ambientes se han podido obtener datos para los tres periodos considerados, con la única excepción de los humedales en planicies de inundación, en las que solo hay datos para los dos últimos periodos.

Análisis por ambientes de sedimentación.

Los resultados correspondientes a los ambientes considerados se resumen en las tablas US.1 a – 9 a (resumen de datos) y US.1 b – 9 b (cálculo de promedios), gráficas US.1 – US.10, y figuras US.1 – US.10. En todos los ambientes se aprecia un aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo, siendo la única (aparente) excepción los depósitos en plataforma continental, como se comenta más adelante.

En el caso de los *lagos* (tablas US.1 a y US.1 b), si se toman los promedios para todos los datos obtenidos, el factor de aumento el periodo AA – CC fue de 2,30, de 1,55 para CC-DD y de 3,56 en el periodo AA-DD (figura US.1 a). Esto es, se habría producido una ralentización en el aumento de la tasa de aporte de sedimentos en el último periodo considerado. Por el contrario, si se hallan los promedios de las tasas en los lugares (19) para los que hay datos de los tres periodos analizados (figura US.1 b), se aprecia que la velocidad de sedimentación se acelera ligeramente en la segunda mitad del siglo, con factores de aumento de 1,49 para el periodo AA – CC, 1,53 para el período CC – DD y 2,56 en el periodo AA-DD. La diferencia se explica, sobre todo, porque, según se ha

comentado anteriormente, cuando solamente hay un valor para el conjunto del lapso post-1900, se ha asignado al periodo CC, siguiendo el criterio más desfavorable para la hipótesis que se intenta comprobar.

Los *depósitos en planicies de inundación* (tablas US.2 a y US.2 b; figura US.2), ponen de manifiesto el aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo. En este caso los factores de aumento son de 1,46 para el periodo AA – CC, de 1,93 para CC-DD y de 2,82 en el periodo AA-DD. Se aprecia por tanto una cierta aceleración en el periodo más reciente. Por el contrario, los 5 puntos que cuentan con tres datos muestran un resultado muy diferente, con una disminución de las tasas en el último periodo en comparación con los dos anteriores. Este es el único caso, entre todos los analizados, en los que se obtiene un resultado de este tipo.

La imagen que proporcionan los *depósitos en cauces fluviales* (tablas US.3 a y US.3 b; figura US.3) es muy parecida, si bien los factores de aumento de las tasas son bastante mayores en este caso, de 3,67 para el periodo AA – CC, de 2,59 para CC-DD y de 9,51 en el periodo AA-DD. Dentro de la tendencia general de aumento de las tasas, se aprecia que el factor de aumento de éstas se redujo en el periodo más reciente (figura US.3 a). Sin embargo, el reducido número de datos para este ambiente hace que los valores se deban considerar con cautela. Todavía mayor debe ser la cautela al considerar los dos puntos que cuentan con tres datos temporales (figura US.3 b). En este caso los factores de aumento para AA-CC y CC-DD son muy similares, aunque el segundo muy levemente menor.

Los *humedales en planicies de inundación* (tablas US.4 a y US.4 b; figura US.4) también cuentan con datos para seis puntos solamente y, además, en cada uno de ellos solo se tiene el valor de las tasas para un lapso temporal, cubriéndose solamente los dos últimos periodos. El resultado obtenido aplicando el criterio general de asignar los valores del periodo post-1900 al lapso CC, muestra un factor de aumento de 2,46 para CC-DD. Nuevamente, hay que señalar que, si se pudiera discriminar entre ambos periodos en todos los casos, el factor de multiplicación sería casi con seguridad más elevado.

El número de datos es mucho mayor en los *humedales y lagunas costeras* (tablas US.5 a y US.5 b). Presentan, como en casos anteriores, un aumento de las tasas con el tiempo. Cuando se utilizan los datos de todos los puntos, los factores de aumento de las tasas son de 1,20 para el lapso AA-CC y de 1,21 para CC-DD y 1,45 para AA-DD. Esto es, habría una

levísima o nula aceleración de las tasas de aumento en el último periodo (figura US.5 a). Cuando se consideran solamente los puntos con tres datos (figura US.5 b) la aceleración en el último periodo es más patente. Factores de aumento; AA-CC: 1,43; CC-DD: 1,73; AA-DD: 2,48.

Algo en cierto modo similar se aprecia a partir de los resultados en *reservorios* originados por la construcción de represas (tablas US.6 a y US.6 b). Cuando se hallan las medias de todos los datos obtenidos (figura US.6 a), los factores de aumento (CC/AA: 3,17; DD/CC: 1,60; DD/AA: 5,06), muestran un crecimiento general de las tasas, pero una reducción del factor de aumento en el último periodo. Si se utilizan solamente los puntos con datos para los tres lapsos temporales (figura US.6 b), las tasas promedio y los factores de aumento son menores, pero hay una marcada aceleración en el último periodo.

En deltas y prodeltas en ambientes estuarinos y depósitos en costas adyacentes a la boca de grandes ríos (tablas US.7 a y US.7 b y figura US.7), las tasas de sedimentación son más elevadas que en todos los ambientes analizados, salvo los cauces fluviales, y también hay aumento de las tasas con el tiempo. Los factores de aumento cuando se toman todos los datos (figura US.7 a) son 2,20 para el lapso AA-CC, de 3,69 para DD-CC y de 8,14 para el periodo AA-DD. Nuevamente se aprecia que el aumento de las tasas se acelera en los tiempos recientes. Sin embargo, el análisis utilizando solamente los puntos con tres datos (figura US.7 b) no muestra esa aceleración, sino una disminución del ritmo de crecimiento.

El número de datos para bahías y estuarios es también considerable (tablas US.8 a y US.8b). Cuando se calculan los promedios y las tasas de aumento utilizando todos los datos (figura US.8 a), los factores de aumento que se obtienen son de 2,53 para el lapso AA-CC, de 1,73 para CC-DD y de 4,38 para AA-DD. Esto es, las tasas crecen con el tiempo, como en casos anteriores, pero el ritmo de crecimiento es algo menor en el último periodo considerado. Si se toman solamente los puntos con datos para los tres lapsos temporales (figura US.8 b), los factores de aumento son de 1,48 para el lapso AA-CC, de 1,70 para CC-DD y de 2,53 para AA-DD. Como en la mayoría de los casos ya analizados, se tiene una aceleración de las tasas en el último periodo.

El último de los ambientes que se consideran, los *depósitos en plataforma continental* (tablas US.9 a y US.9 b), es el único que presenta una aparente desviación con respecto a la pauta general de aumento de las tasas con el tiempo. Los promedios obtenidos con todos los datos muestran un aumento prácticamente igual de las tasas durante los periodos

CC y DD. (figura US.9 a), ambas mucho mayores que en el periodo inicial. Ahora bien, la gran mayoría de los puntos en este ambiente solamente cuentan con un dato, precisamente el correspondiente al lapso BB (post-1900), el cual, de acuerdo con el criterio general varias veces mencionado, se ha atribuido en las gráficas al periodo CC. Si se consideran solamente los puntos con tres datos la imagen es bastante diferente (figura US.9 b). El valor absoluto de las tasas es menor, y estas muestran una aceleración en el periodo más reciente. AA-CC: 1,13; CC-DD: 1,62; AA-DD: 1,83.

El conjunto de los datos presentados muestra con claridad que las tasas de sedimentación han aumentado con el tiempo en todos los casos, y que en casi todos los ambientes analizados ha habido una aceleración de las mismas a partir de mitad del siglo XX. En algunos casos, esa aceleración es simplemente aritmética, pero en muchos es geométrica. Esto es, aunque el Factor de Aumento para CC-DD sea menor que para AA-CC, la diferencia entre los valores absolutos de las tasas es en general mayor en CC-DD que en AA-CC.

Análisis por áreas geográficas.

Los datos obtenidos se han agrupado en 7 áreas geográficas, de acuerdo con las grandes regiones fisiográficas descritas, pero añadiendo algún matiz que se comenta a continuación. Las llanuras de la costa atlántica se han dividido en dos conjuntos, separando por un lado la *costa E* y por otro la *costa S*, correspondiente al Golfo de México. Se ha tomado como un todo la región de la *costa pacífica*. En la unidad de las *mesetas intermontanas* de la zona occidental se han incluido los datos del valle del Río Colorado que drena a partir de ella. Las Llanuras centrales se han separado en dos conjuntos, la *cuenca de los Grandes Lagos* y la *cuenca del Río Mississippi*. Finalmente, se han agrupado los datos relativos a depósitos litorales y de plataforma asociados a la *desembocadura del Mississippi*. En todas estas regiones hay un importante número de datos, siendo el entorno de la desembocadura del Mississippi y las mesetas intemontanas occidentales las que menos tienen, ambas con 28. No se han encontrado datos sobre las otras grandes regiones. En el caso de Alaska hay 4 puntos, todos ellos con datos para un solo lapso temporal, por lo que no se comentan aquí. Los resultados correspondientes se resumen en las tablas US.10 b – US.16 b y en las figuras US.10 – US.16.

En la *costa E* (tabla US.10 b; figura US.10) se cuenta con un importante número de datos. Los resultados obtenidos utilizando todos los puntos con datos (figura US.10 a) muestran, como en otros casos, un aumento marcado de las tasas con el tiempo, con factores de aumento de 2,09 para AA-CC, de 1,64 para CC-CC y de 3,41 para AA-DD. Esto es, parecen indicar un menor ritmo de crecimiento de las tasas en el último periodo. Si el análisis se realiza utilizando solamente los lugares que cuentan con datos para los tres lapsos temporales (figura US.10 b), los factores de aumento son 1,6 para AA-CC, de 1,64 para CC-CC y de 2,62 para AA-DD, mostrando estabilidad o una muy leve aceleración en el periodo más reciente.

En la región de la *costa pacífica* (tabla US.11 b; figura US.11) se observa igualmente un crecimiento general de las tasas de sedimentación. Los factores de aumento obtenidos utilizando todos los datos (figura US.11 a) revelan una aceleración de ese crecimiento en la segunda mitad del siglo XX (AA-CC: 1,10; CC-DD: 1,78; AA-DD: 1,96). Igualmente muestran aceleración, pero menos marcada, los resultados obtenidos con los puntos que tienen datos para los tres lapsos temporales (figura US.11 b).

En la *costa S* (Golfo de México) el resultado es muy similar (tabla US.12 b; figura US.12), con un claro aumento de las tasas de sedimentación en todos los casos. Cuando se analizan la totalidad de los datos parece haberse producido una disminución del ritmo de crecimiento de las tasas en el último periodo (figura US.12 a), con factores de AA-CC: 7,02; CC-DD: 2,22; AA-DD: 15,58. Sin embargo, si el análisis se restringe a los puntos con datos para los tres lapsos temporales (figura US.12 b), los factores de aumento son AA-CC: 1,5; CC-DD: 2,37; AA-DD: 3,58, mostrando una marcada aceleración en la segunda mitad del pasado siglo.

En la *cuenca de los Grandes Lagos* (tabla US.13 b; figura US.13), la imagen que surge es bastante similar a la de la región anterior. Dentro de la tendencia general al crecimiento de las tasas de sedimentación, los resultados obtenidos con todos los puntos (figura US.13 a), no muestran aceleración de las tasas de sedimentación en el último periodo, pero esa aceleración, aunque leve, sí se aprecia en los lugares que cuentan con datos para los tres periodos (figura US.13 b), con tasas: AA-CC 1,45; CC-DD: 1,49; AA-DD: 2,17.

En la otra gran cuenca de las llanuras centrales, *la cuenca del Mississippi* (tabla US.14 b; figura US.14), las dos maneras de representar los datos muestran también un aumento de las tasas de sedimentación. Sin

embargo, y a diferencia de lo que se ha encontrado en la práctica totalidad de los casos, en este país o en los anteriormente analizados, el conjunto de los datos (figura US.14 a) muestra una aceleración de las tasas en la segunda mitad del siglo XX (factores de aumento: AA-CC: 1,52; CC-DD: 2,04; AA-DD: 3,11), pero eso no ocurre cuando se consideran los lugares con tres datos (figura US.14 b).

Esta (aparentemente) anómala situación se encuentra también, y de manera bastante más acusada, al analizar los resultados obtenidos en el entorno de la desembocadura del Río Mississippi (tabla US.15 b; figura US.15). El conjunto de los datos muestra un fuerte aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo y una aceleración marcada a mitad del siglo XX (figura US.15 a). Sin embargo, los datos correspondientes a los puntos con valores de para los tres lapsos temporales (figura US.15 b), muestran no ya un menor ritmo de aumento de las tasas en el último periodo, sino una disminución. El hecho de que los datos en principio más completos y fiables muestren ese comportamiento, pudiera relacionarse con el fuerte aumento de las tasas de erosión que tuvo lugar en amplias zonas de esta cuenca en la primera mitad del pasado siglo (el conocido episodio del “Dust Bowl”, en los años 30) y con la consiguiente reducción de las mismas tras la adopción de importantes medidas de conservación del suelo, encaminadas a resolver el citado problema.

Por último, en las *mesetas intermontanas occidentales*, con datos procedentes de la cuenca del Gran Lago Salado y la del Río Colorado (tabla US.16 b; figura US.16), se encuentran resultados como los obtenidos en la casi totalidad de las áreas estudiadas en los diferentes países. El conjunto de los datos (figura US.16 a) muestran un crecimiento de las tasas de sedimentación a lo largo de todo el periodo considerado, pero un ritmo de crecimiento menor en la segunda mitad del siglo XX (factores de aumento AA-CC: 11,83; CC-DD: 2,01; AA-DD: 23,77). Por su parte, los puntos con datos para los tres lapsos temporales (figura US.16 b) presentan factores de aumento crecientes para dichas tasas (AA-CC: 1,15; CC-DD: 2,74; AA-DD: 3,15), mostrando una fuerte aceleración del proceso.

Síntesis del conjunto.

Estados Unidos, no sorprendentemente, cuenta con un numeroso conjunto de trabajos que han abordado, de manera directa o indirecta, el tema de las tasas de sedimentación. Los efectos de la agricultura,

ganadería, explotaciones forestales, minería superficial y profunda, urbanización y construcción de infraestructuras, etc. en la generación de sedimento, han sido estudiados desde largo tiempo atrás, entre muchos otros por Gottschalk & Brune (1950), Lusby (1979), Beschta (1978), Graf (1979), Ringen et al (1979), Vice et al (1969), Yorke & Herb (1976), Emerson (1971), Snyder et al (1976), Bryan (1977), Seibert & Penneman (1975), Toy (1982). Elevados valores absolutos de las tasas de sedimentación se han documentado por Theis & Knox (2003), Benedetti (2003), Phipps et al (1995), Faulkner & McIntyre (1996), McHenry et al (1984) y GREAT I (1980), quienes encontraron valores de hasta 40 mm/año para el siglo XX en conjunto, y el período posterior a la década de 1950 en particular. Sin embargo, han sido pocos los casos en que los datos presentados por estos autores, han permitido calcular los factores de aumento.

Tal como se ha indicado más arriba al comentar los resultados sobre la cuenca del río Mississippi y el episodio del “Dust Bowl”, diferentes autores han puesto de manifiesto las consecuencias del desarrollo temprano de la agricultura, la rápida expansión de superficies cultivadas, y la intensificación de las actividades por la mecanización agraria durante el primer cuarto del siglo pasado, que produjeron una gran aceleración de las tasas de erosión y sedimentación (Knox, 1987, 2001, 2006; Knox & Trimble, 1989; Trimble, 1988, 1999; Meade & Moody, 2010). A mediados del siglo XX, la construcción de represas en el conjunto de la cuenca sumado a la implementación de prácticas de conservación de suelos, comenzaron a expresarse en una importante disminución de las tasas de erosión, y declinación de la carga sólida transportada por los ríos.

La aceleración de las tasas de sedimentación en lagos ubicados en diferentes áreas fisiográficas y cuencas de Estados Unidos, ha sido estudiada, entre otros, por Miller et al (2005), Davis et al (2006), Balogh et al (2009), Smalley (2010), Colman et al (2004a), Colman et al (2004b), Benoit & Rozan (2003). Estos autores informaron tasas que en sus valores absolutos alcanzan 16 mm/año. Los factores de aumento que se han podido determinar entre los períodos anterior y posterior a la década de 1950, se situaban entre 1,5 y 6.

En depósitos de cauces fluviales, se informaron elevadas tasas de sedimentación, atribuidas a la intensificación de las actividades humanas, con factores de aumento que oscilaron entre 1,7 y 4 (Chillrud et al, 2003; Friedman et al, 2005; Edlund et al, 2009).

En ambientes de deltas, estuarios y depósitos en plataforma bajo la influencia del río Mississippi, distintos autores informaron elevadas tasas de sedimentación para el período correspondiente al conjunto del siglo XX, en particular su segunda mitad, con factores de aumento del orden de 5,5. Varios trabajos (Corbett et al, 2006; Osterman, 2003, 2005, 2008; Parsons et al, 2002; Swarzenski et al, 2006), mostraron una declinación marginal de las tasas en la segunda mitad del siglo XX. En cambio, en deltas comprendidos en zonas alejadas de la influencia del río Mississippi, se han documentado factores de aumento de las tasas, para los periodos anterior y posterior a 1950, de 1,7-28 (Jaeger et al, 2009).

El impacto de las actividades humanas sobre bahías y estuarios ubicados en distintas regiones de Estados Unidos se ha estudiado, entre muchos otros por Brush (1984), Brush & Davis (1984), Khan & Brush (1994), Zimmerman et al (2002), Lima et al (2005), Brandenberger et al (2008), Jaeger et al (2009), Ostermaan et al (2012). Las tasas de sedimentación del período más reciente alcanzan valores superiores a 40 mm/año, con factores de aumento entre los períodos anterior y posterior a la década de 1950, del orden de 11.

De acuerdo con el conjunto de los datos que hemos podido recabar y analizar, el promedio de las tasas de sedimentación en el periodo más reciente oscila entre 7 y 25 mm/año en las distintas regiones. Los valores más altos se encuentran en la costa del Golfo de México, incluyendo el entorno de la desembocadura del Río Mississippi. Por su parte, los factores de aumento de dichas tasas variaron entre 2 y 24, siendo las cuencas intermontanas occidentales las que mayor incremento muestran, seguidas de la costa S, incluyendo la desembocadura del Mississippi. Los datos del US Census Bureau (<https://www.census.gov>) muestran que el crecimiento demográfico más acusado durante las últimas décadas se ha producido sobre todo en los estados enclavados en esas áreas. Como se ha comentado en relación con los resultados de China e India, no podemos establecer si el aumento de las tasas de sedimentación se explica como consecuencia de la “presión geomorfológica humana” (Bruschi et al., 2013), pero los datos hasta ahora obtenidos (no concluyentes) son coherentes con esa idea.

Los promedios de las tasas para el conjunto del país, utilizando todos los datos obtenidos (figura US.17 a), muestran tanto un aumento general de las tasas de sedimentación como una aceleración de las mismas a partir de mitad del siglo XX. Sin embargo, la citada aceleración se manifiesta en menor medida en los valores obtenidos usando solamente los puntos con

tres datos temporales (figura US.17 b) es una aceleración aritmética, no geométrica. En este caso, los factores de aumento de los periodos AA-CC y CC-DD, son muy similares, sin indicios de aceleración geométrica (aunque sí aritmética). Este resultado está condicionado, evidentemente, por los datos correspondientes a la cuenca y entorno del delta del Mississippi antes comentados.

Los resultados anteriores se pueden comparar con los datos del PBI (figura US.18). Estos muestran un fortísimo aumento para el conjunto del periodo, situándose el inicio de la aceleración hacia los años 30, siendo esta más marcada con posterioridad a la Segunda Guerra Mundial (la varias veces citada Gran Aceleración de Steffen et al., 2011). La superposición de los valores promedio de PIB y tasas de sedimentación para todos los puntos (figura US.19 a) y para los puntos con tres datos de tasas (figura US.19 b), también revela la similitud entre ambos, si bien esta es menor que en los casos de China e India. Otra diferencia con los dos casos anteriores es que el grado de similitud es mayor cuando se toman todos los puntos que cuando se toman solo los que tienen tres datos de tasas. Lo que es claramente bastante diferente son los factores de aumento para las tasas de sedimentación (3,98-2,12) y para el PIB (28,5). Este punto se retoma más adelante, al hacer la recapitulación con el conjunto de los resultados.

Los datos relativos a la evolución de las precipitaciones (figura US.20; IPCC, 2013) muestran, para las diferentes regiones del país, un aumento inicial de las lluvias con posterioridad a mitad del siglo XX, seguido de una disminución.

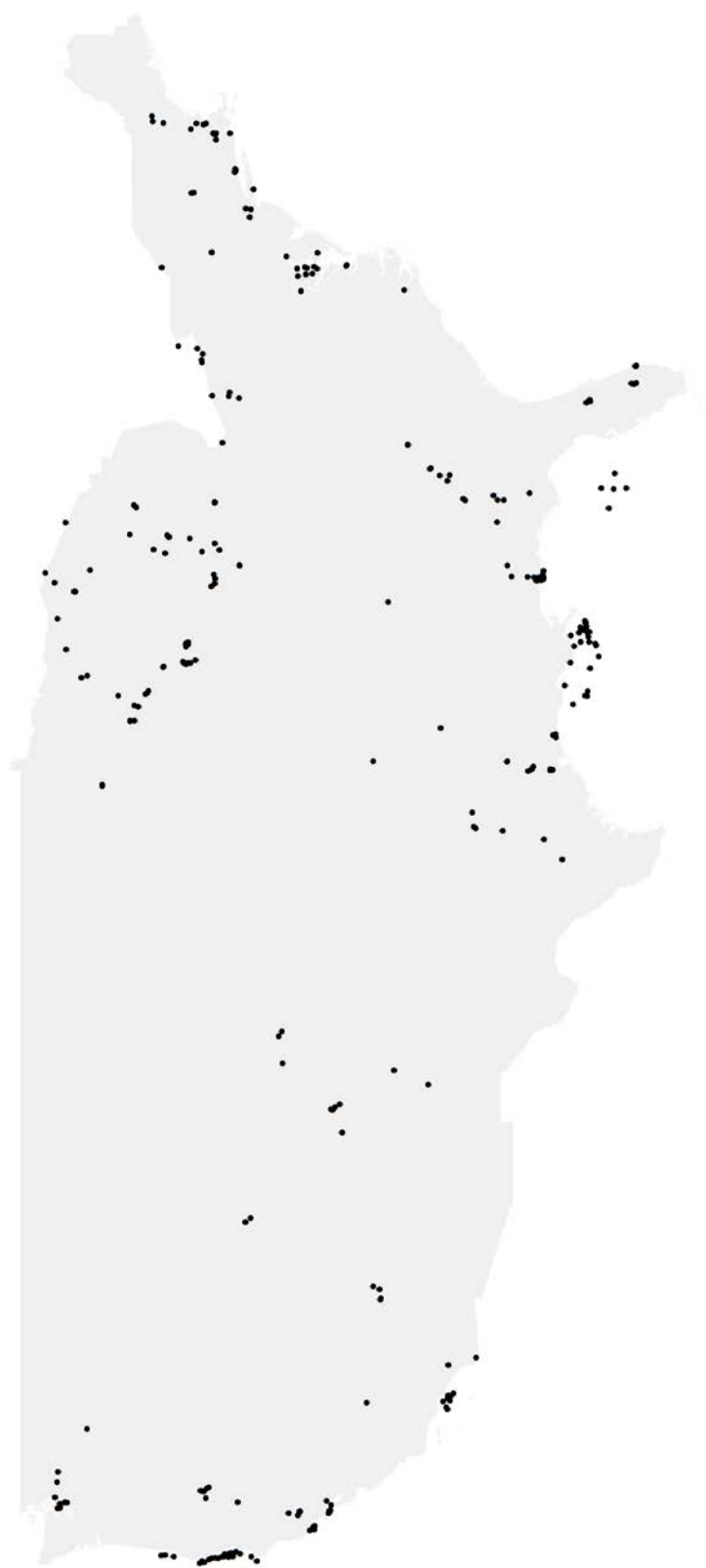


Figura US.0. Estados Unidos. Ubicación de los puntos con datos.

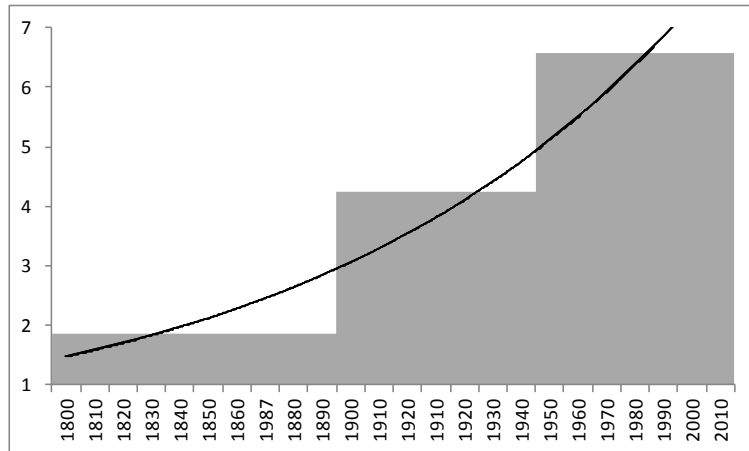


Figura US.1 a. Lagos. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,30; CC-DD: 1,55; AA-DD: 3,56.

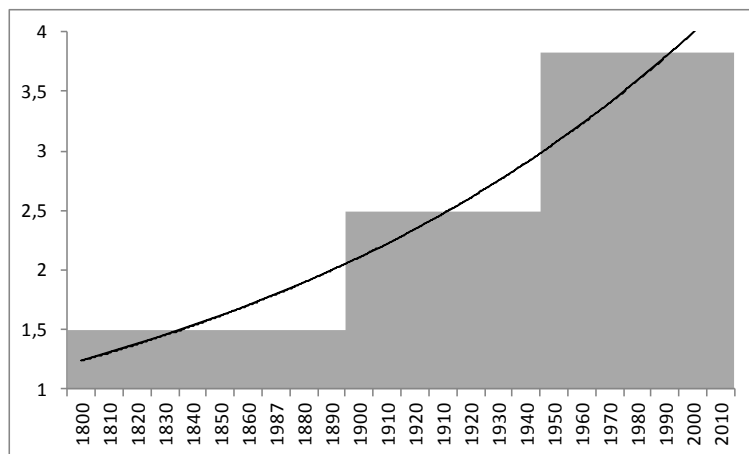


Figura US.1 b. Lagos. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,67; CC-DD: 1,53; AA-DD: 2,56.

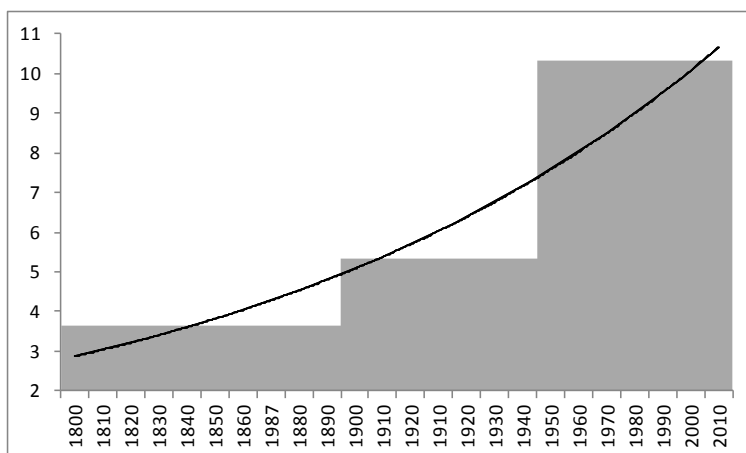


Figura US.2 a. Depósitos en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,46; CC-DD: 1,93; AA-DD: 2,82.

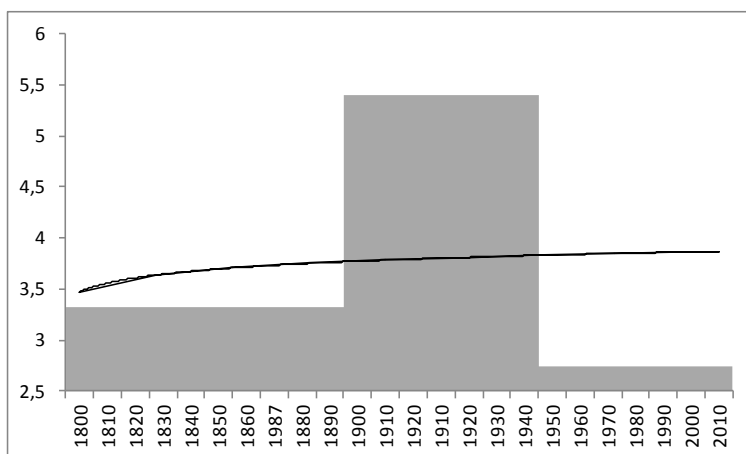


Figura US.2 b. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,63; CC-DD: 0,51; AA-DD: 0,83.

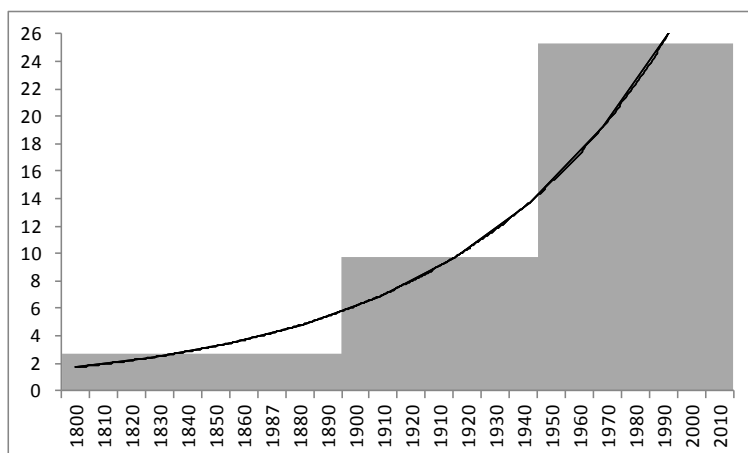


Figura US.3 a. Depósitos en cauces fluviales. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,67; CC-DD: 2,59; AA-DD: 9,51

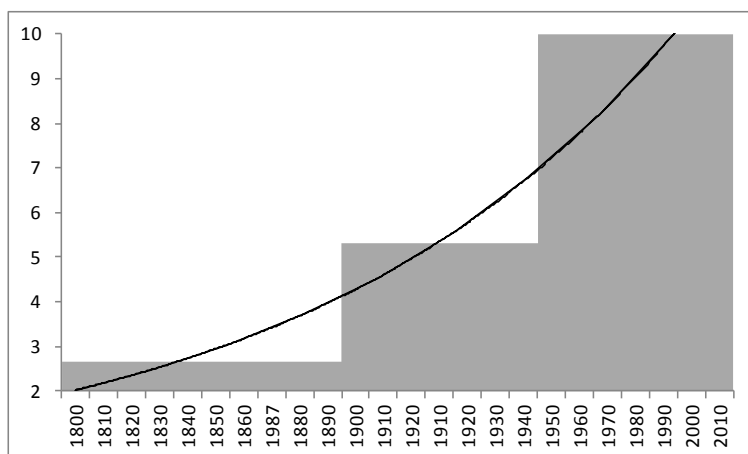


Figura US.3 b. Depósitos en cauces fluviales. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,99; CC-DD: 1,88; AA-DD: 3,76.

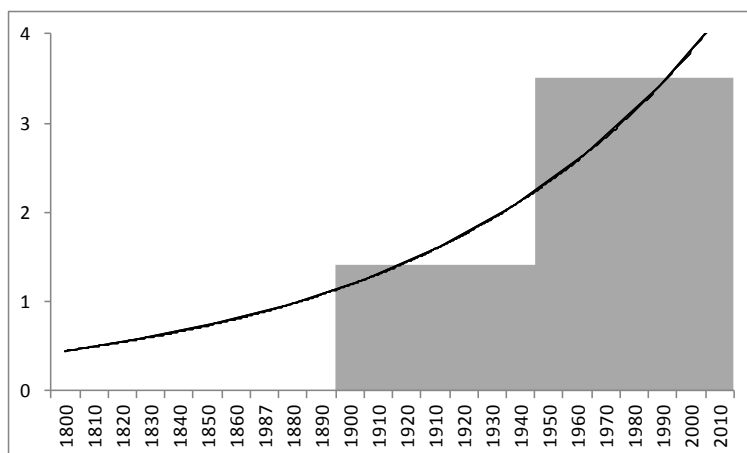


Figura US.4 a. Humedales en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 2,46.

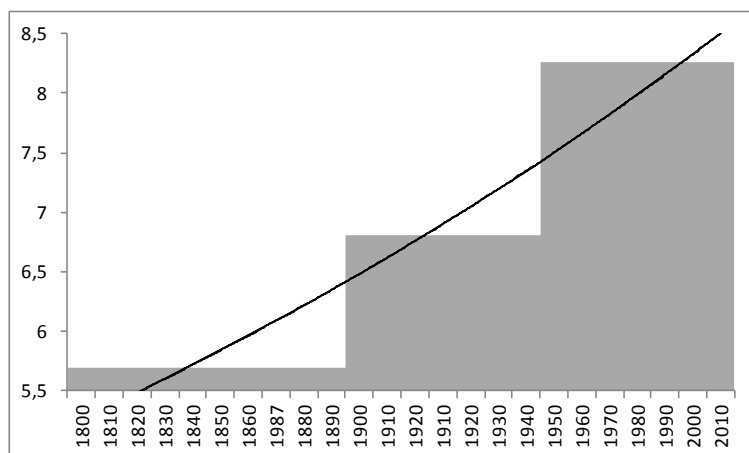


Figura US.5 a. Humedales y Lagunas Costeras. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,20; CC-DD: 1,21; AA-DD: 1,45.

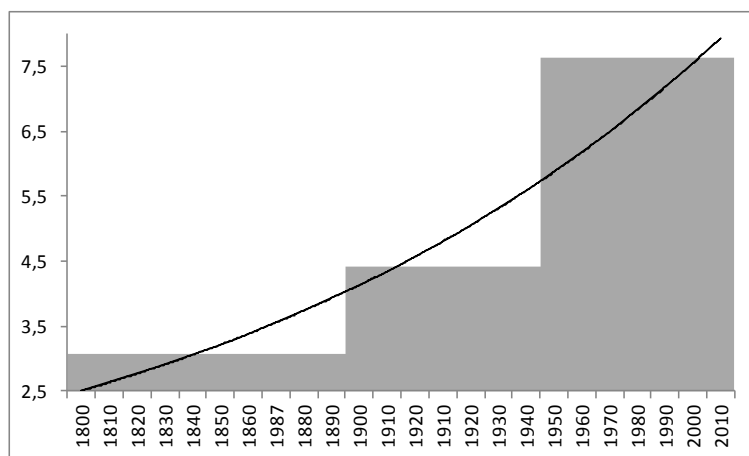


Figura US.5 b. Humedales y Lagunas Costeras. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,43; CC-DD: 1,73; AA-DD: 2,48.

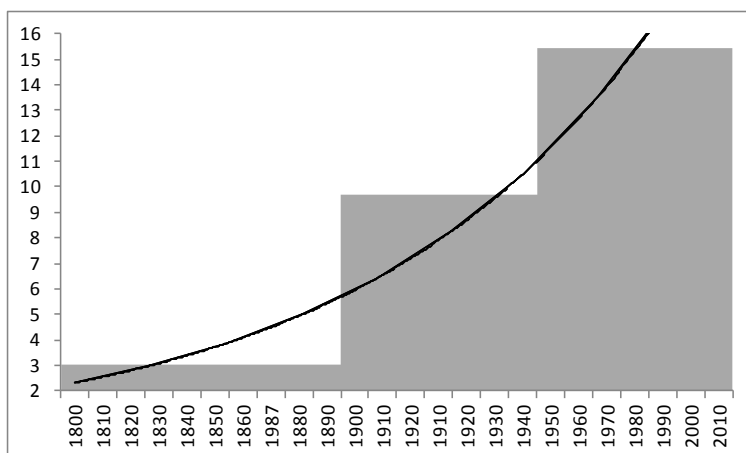


Figura US.6 a. Reservoirs. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,17; CC-DD: 1,60; AA-DD: 5,06.

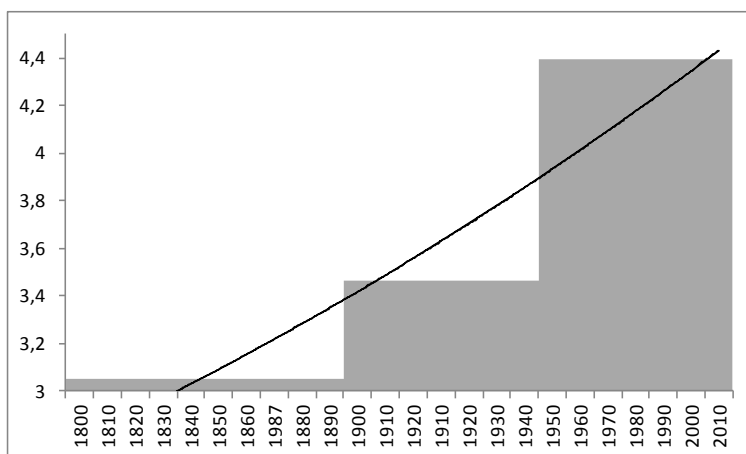


Figura US.6 b. Reservoirs. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,14; CC-DD: 1,27; AA-DD: 1,44.

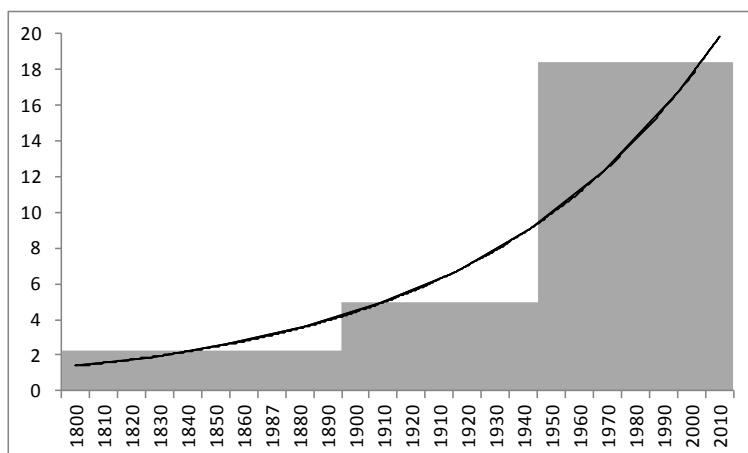


Figura US.7 a. Depósitos en Deltas y prodeltas en ambientes estuáricos y depósitos en costas continentales adyacentes a la boca de grandes ríos. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,20; CC-DD: 3,69; AA-DD: 8,14.

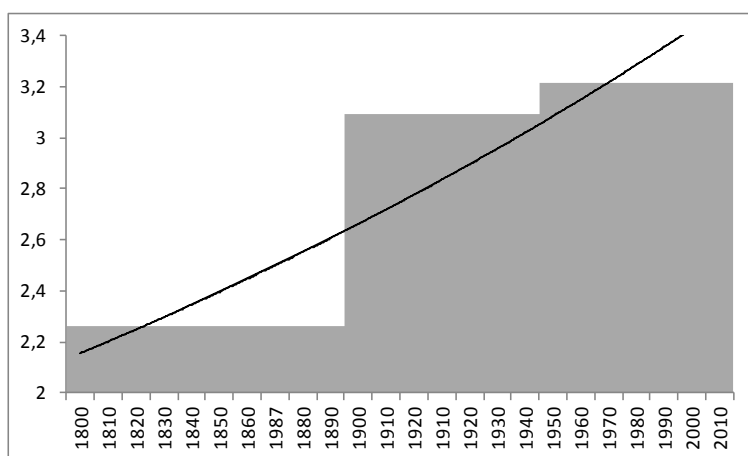


Figura US.7 b. Depósitos en Deltas y prodeltas en ambientes estuáricos y depósitos en costas continentales adyacentes a la boca de grandes ríos. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,37; CC-DD: 1,04; AA-DD: 1,42.

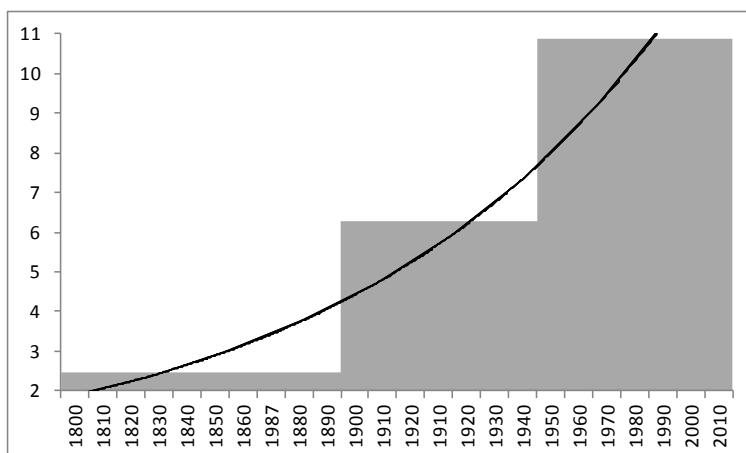


Figura US.8 a. Bahías y Estuarios. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,53; CC-DD: 1,73; AA-DD: 4,38.

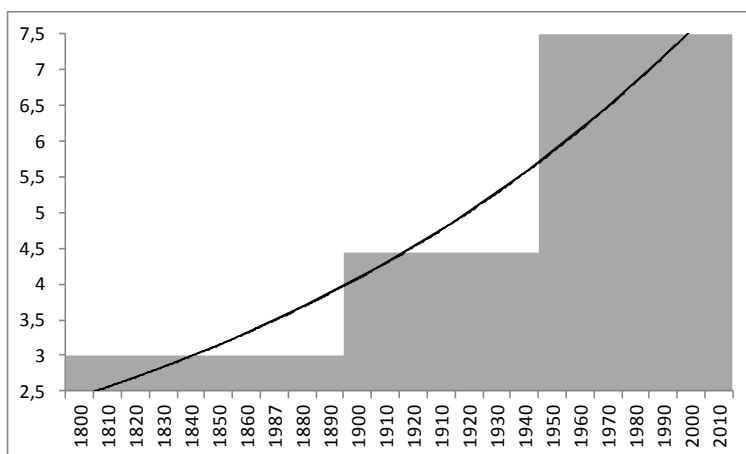


Figura US.8b. Bahías y Estuarios. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,48; CC-DD: 1,70; AA-DD: 2,53.

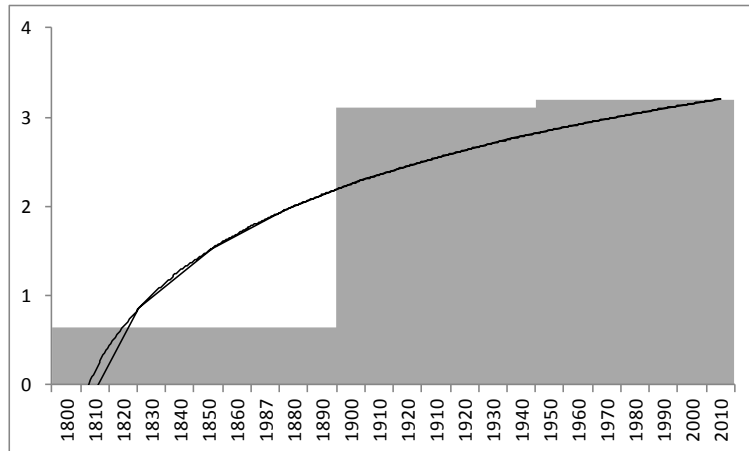


Figura US.9 a. Depósitos en plataformas continentales. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 4,86; CC-DD: 1,02; AA-DD: 4,98.

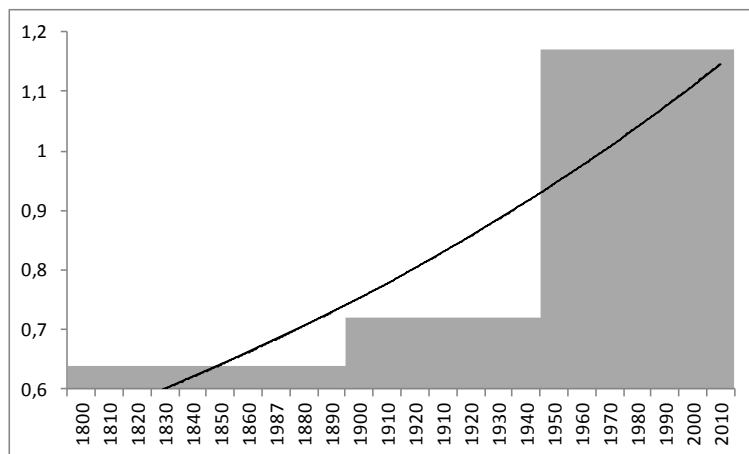


Figura US.9 b. Depósitos en plataformas continentales. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,13; CC-DD: 1,62; AA-DD: 1,83.

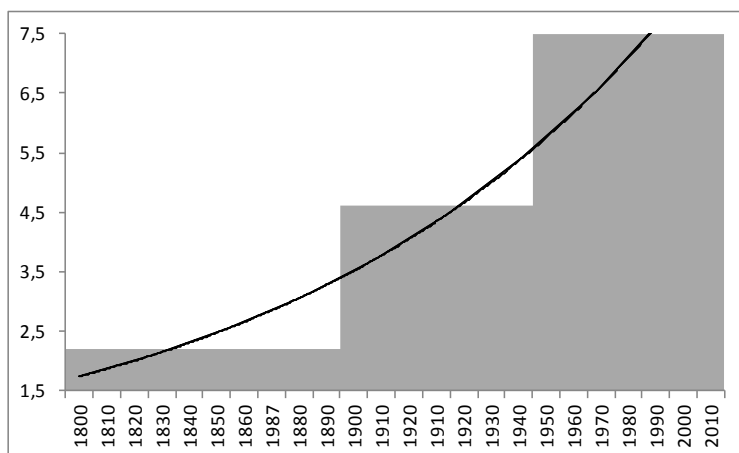


Figura US.10 a. Costa Este. Tasas medias de sedimentación en todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,09; CC-DD: 1,64; AA-DD: 3,41.

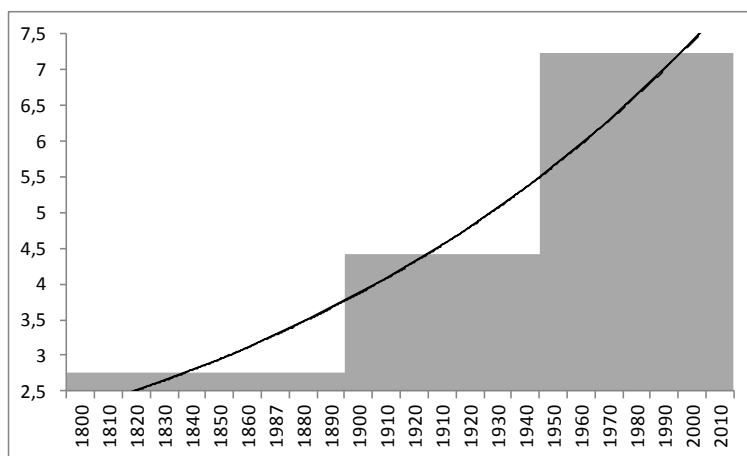


Figura US.10 b. Costa Este. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,60; CC-DD: 1,64; AA-DD: 2,62.

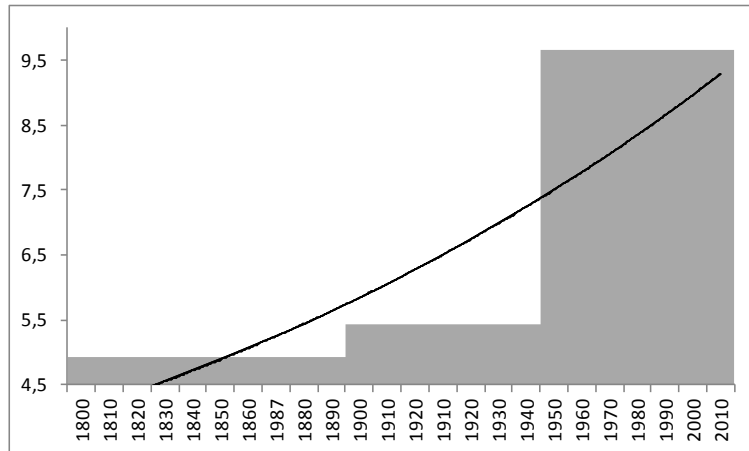


Figura US.11 a. Costa Oeste. Tasas medias de sedimentación en todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,10; CC-DD: 1,78; AA-DD: 1,96.

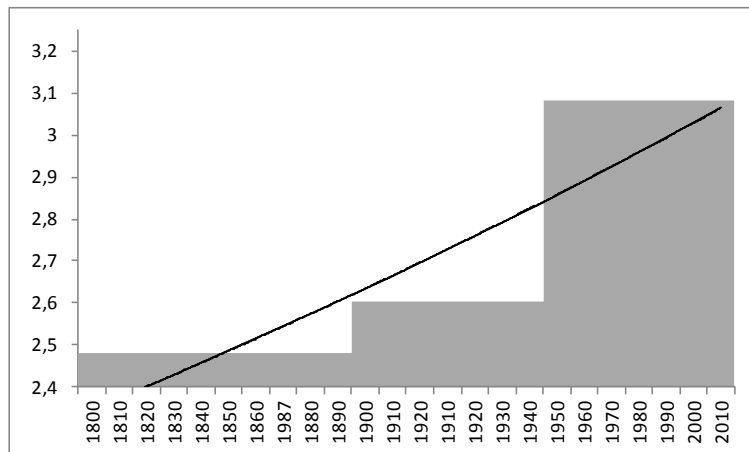


Figura US.11 b. Costa Oeste. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,05; CC-DD: 1,18; AA-DD: 1,24.

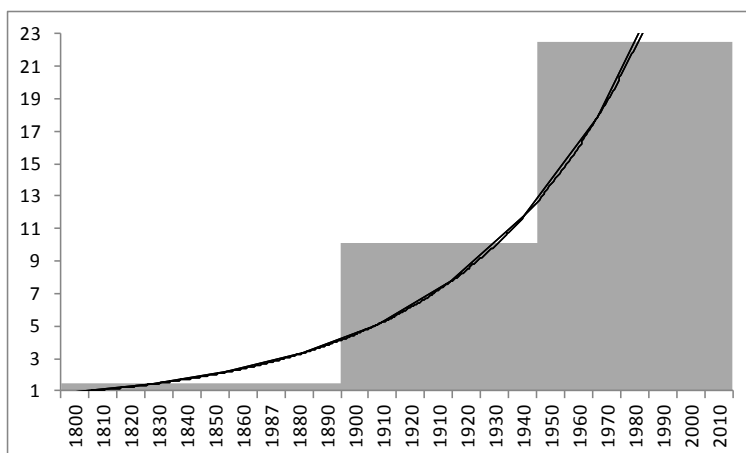


Figura US.12 a. Costa Sur. Tasas medias de sedimentación en todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 7,05; CC-DD: 2,22; AA-DD: 15,58.

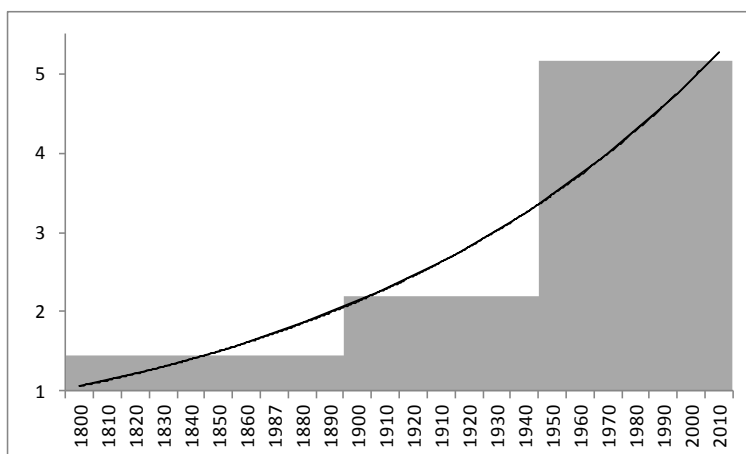


Figura US.12 b. Costa Sur. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,51; CC-DD: 2,37; AA-DD: 3,58.

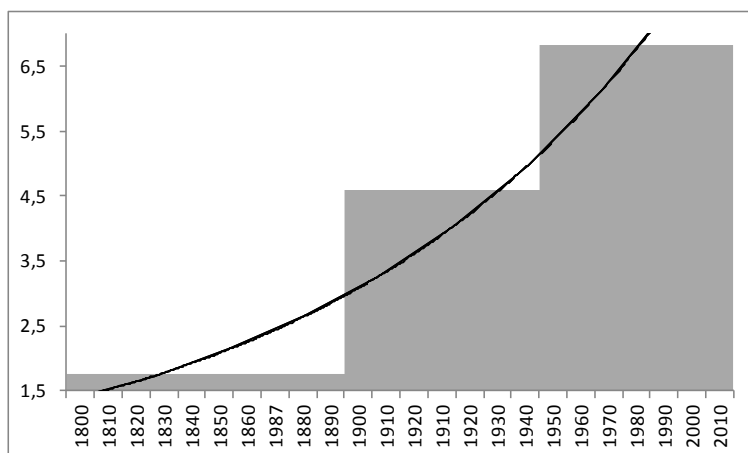


Figura US.13 a. Cuenca de los Grandes Lagos. Tasas medias de sedimentación en todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,59; CC-DD: 1,49; AA-DD: 3,86.

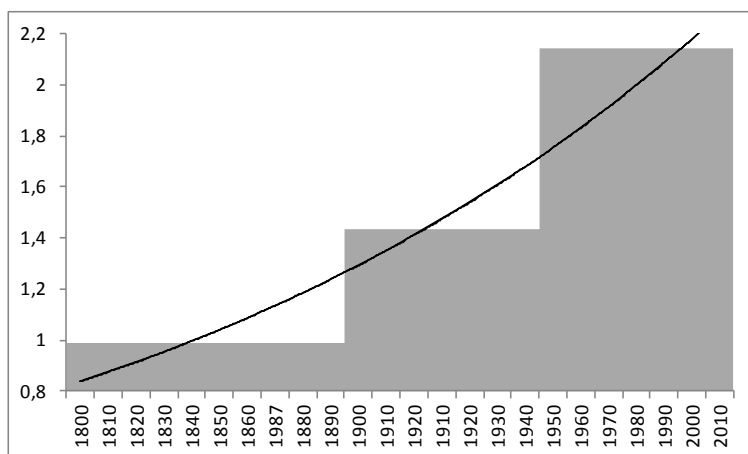


Figura US.13 b. Cuenca de los Grandes Lagos. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,45; CC-DD: 1,49; AA-DD: 2,17.

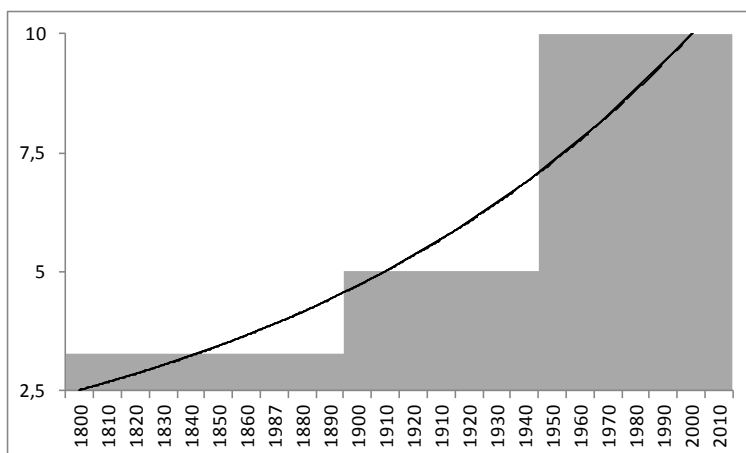


Figura US.14 a. Cuenca del Mississippi. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,52; CC-DD: 2,04; AA-DD: 3,11.

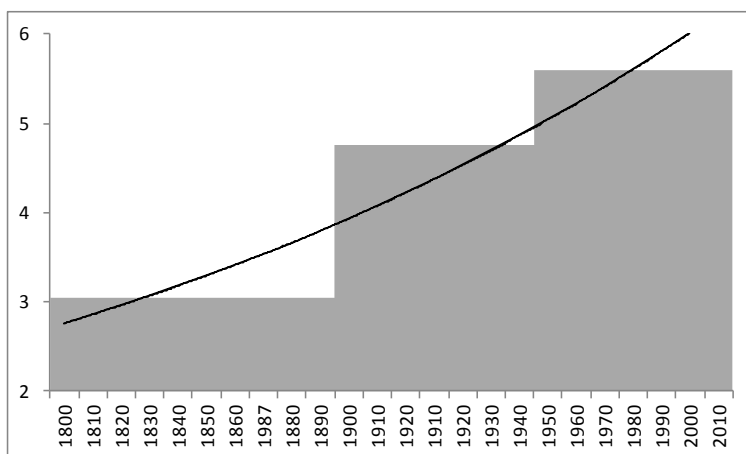


Figura US.14 b. Cuenca del Mississippi. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales dados (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,56; CC-DD: 1,18; AA-DD: 1,83.

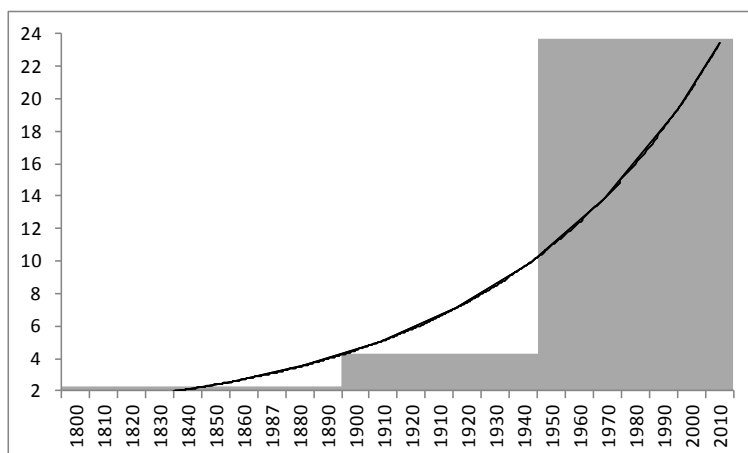


Figura US.15 a. Deltas, Prodeltas y depósitos asociados a la boca del río Mississippi. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,90; CC-DD: 5,47; AA-DD: 10,39.

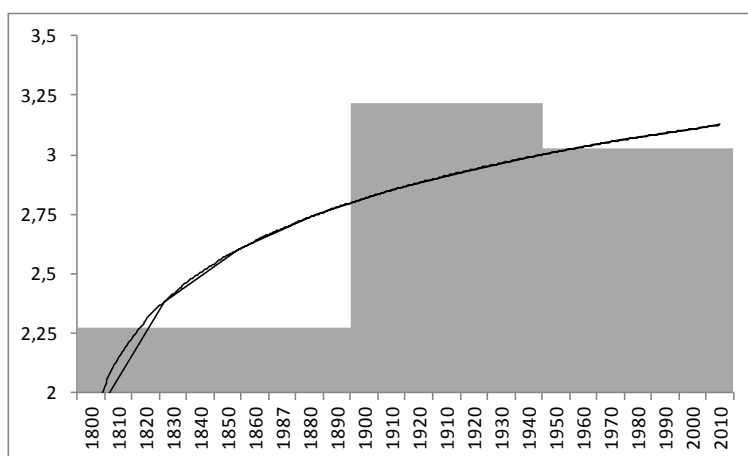


Figura US.15 b. Deltas, Prodeltas y depósitos asociados a la boca del río Mississippi. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,41; CC-DD: 0,94; AA-DD: 1,33.

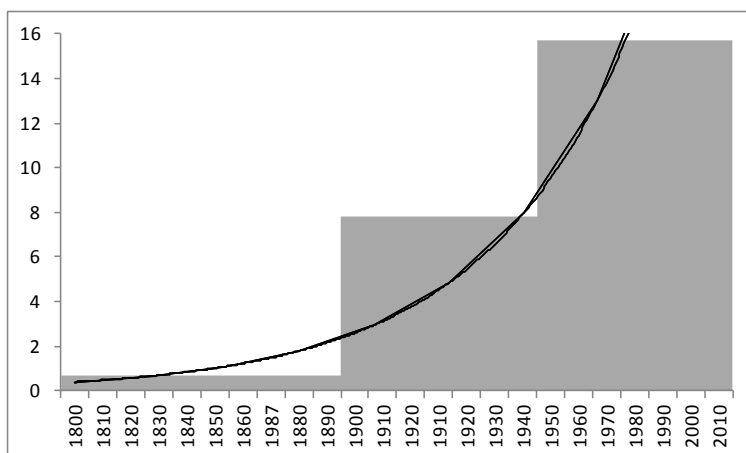


Figura US.16 a. Cuenca del río Colorado y Gran Lago Salado. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 11,83; CC-DD: 2,01; AA-DD: 23,77.

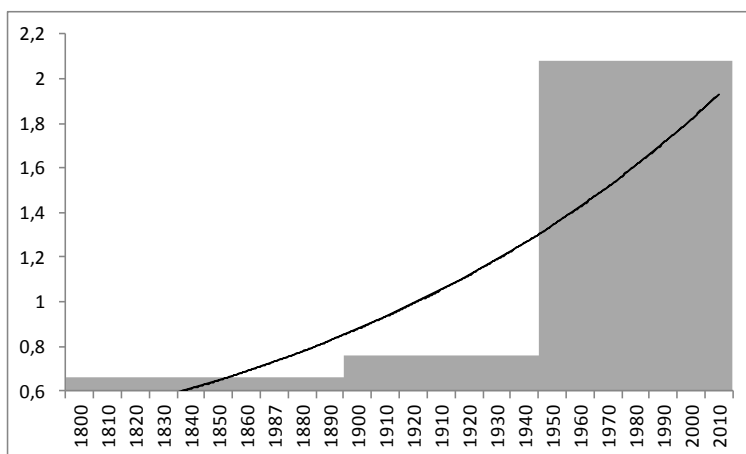


Figura US.16 b. Cuenca del río Colorado y Gran Lago Salado. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,15; CC-DD: 2,74; AA-DD: 3,15.

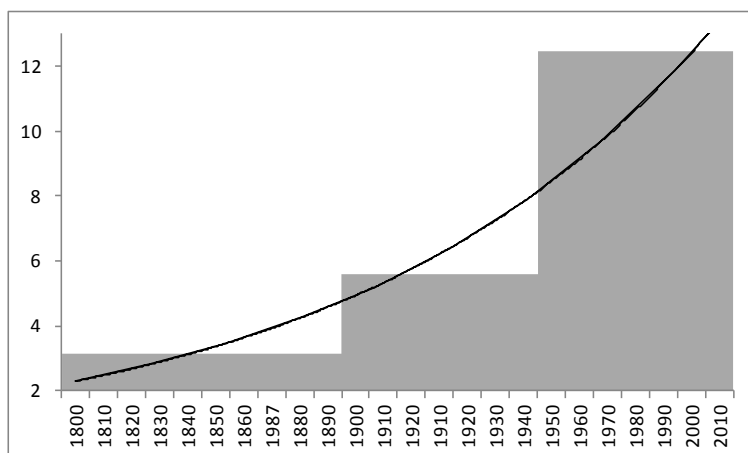


Figura US.17 a. Estados Unidos. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,13; CC-DD: 5,57; AA-DD: 12,46.

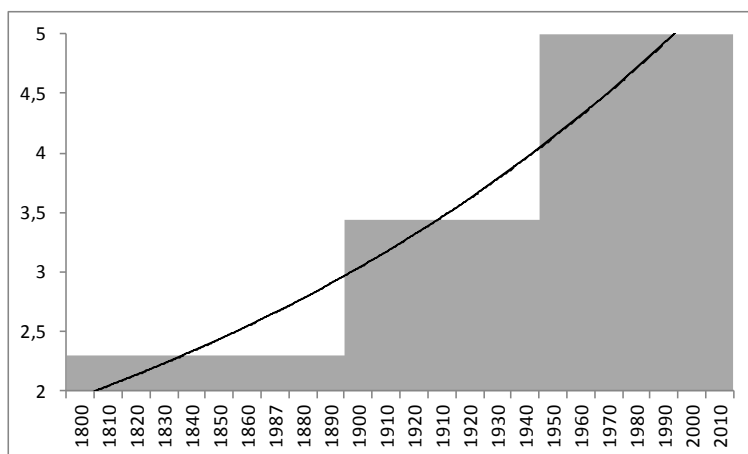


Figura US.17 b. Estados Unidos. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,46; CC

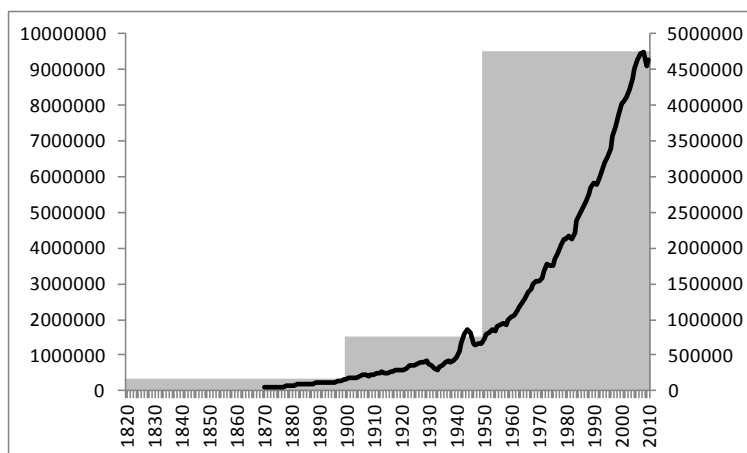


Figura US.18. Estados Unidos. Evolución del PIB. (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 4,53; CC-DD: 6,29; AA-DD: 28,50.

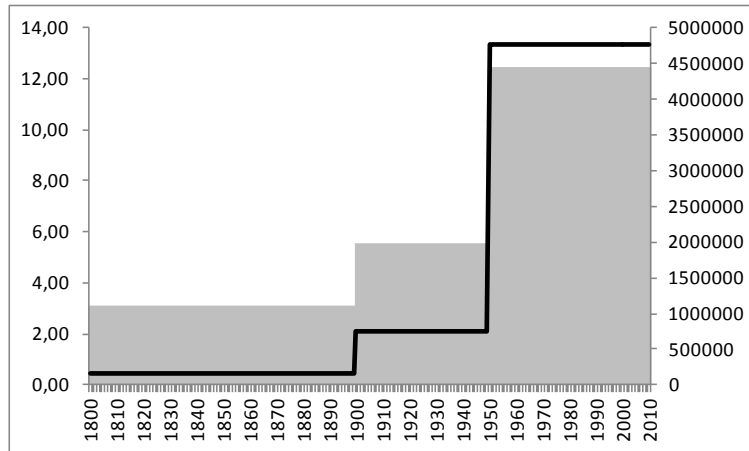


Figura US.19 a. Estados Unidos. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB.

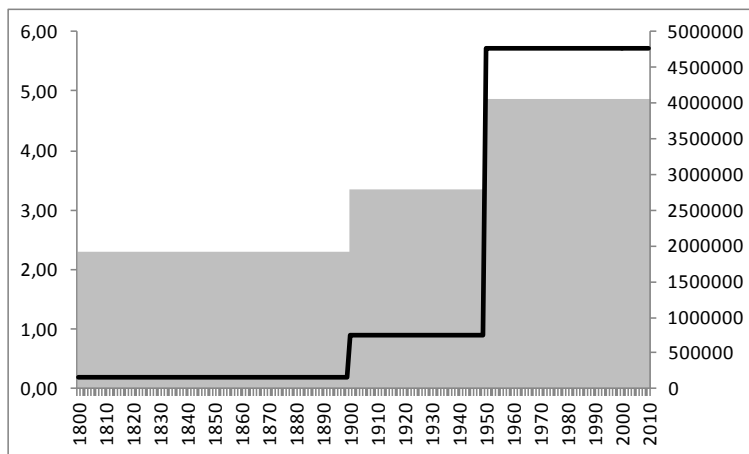


Figura US.19 b. Estados Unidos. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

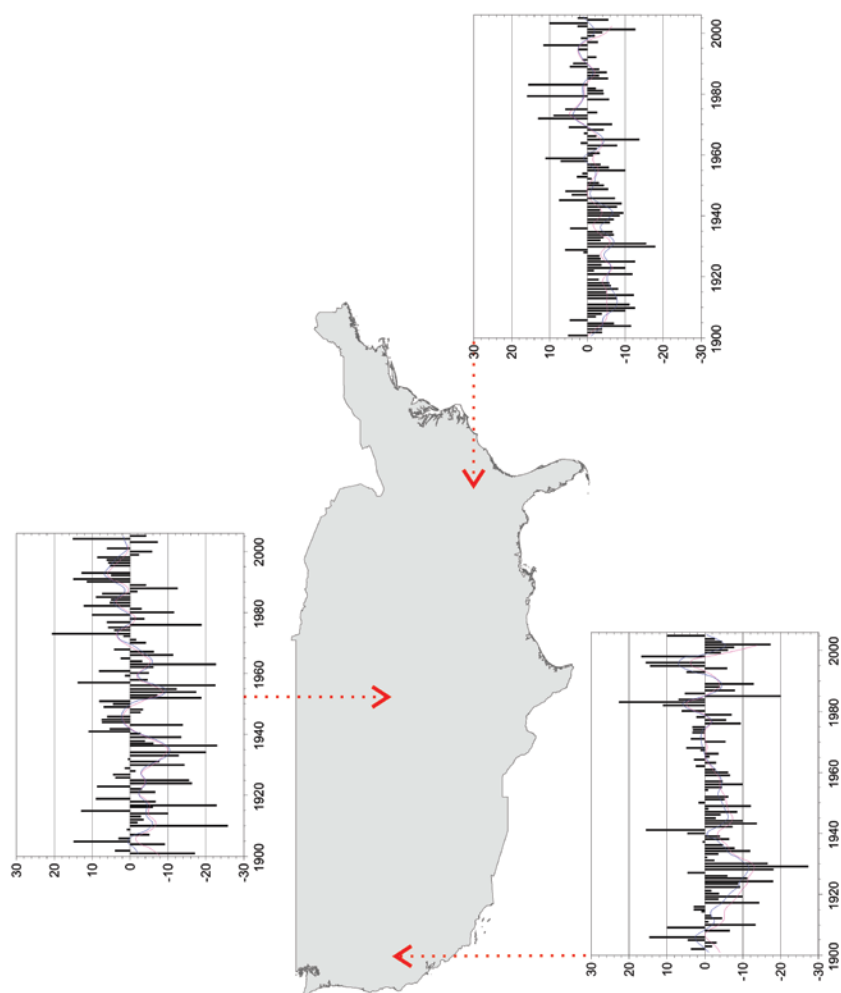


Figura US.20. Desvíos sobre la precipitación media anual (en %) 1900-2005, en el Oeste y Centro.

3.2.4. Europa.

Introducción.

Europa presenta, a los efectos de este trabajo, características diferentes de las otras regiones analizadas. Es la única entre todas ellas que está constituida por diferentes países, por lo que, para hacer el análisis por zonas, se ha estimado más conveniente utilizar principalmente como unidades de análisis países o grupos de países próximos y de características afines, en vez de grandes unidades fisiográficas como en las regiones ya presentadas. La excepción es la región de los Alpes. No se incluye aquí, por tanto, una descripción de grandes unidades fisiográficas o regiones naturales.

Distribución de los datos obtenidos

Se han obtenido datos, para el conjunto de Europa, en un total de 206 lugares, cuya distribución se muestra en la figura Eu.0. Para realizar el análisis, los resultados obtenidos se han agrupado en nueve tipos de ambientes de sedimentación:

1. Lagos: 91.
2. Humedales y lagunas en planicies de inundación: 4.
3. Humedales y lagunas costeras: 4.
4. Depósitos en planicies de inundación: 19
5. Depósitos en cauces fluviales: 8.
5. Humedales y lagunas costeras: 35.
6. Reservorios: 23.
7. Deltas: 2.
8. Bahías y estuarios: 52.
9. Depósitos en plataforma continental: 2.

Como se puede apreciar, hay un número apreciable de datos para cinco de esos ambientes, y muy reducido en tres de ellos. En el caso de los depósitos en cauces fluviales solo se tienen datos para el último de los periodos considerados. En otros tres casos, humedales y lagunas costeras, deltas y depósitos en plataforma continental, se han podido documentar únicamente los dos últimos lapsos temporales establecidos.

Análisis por ambientes de sedimentación.

Los resultados correspondientes a los ambientes considerados se resumen en las tablas Eu.1 a – 9 a (resumen de datos) y Eu.1 b – 9 b (cálculo de promedios), gráficas Eu.1 – Eu.9, y figuras Eu.1 – Eu.9. En todos los ambientes se aprecia un aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo, con la excepción de los depósitos en cauces fluviales.

En los *lagos* (tablas Eu.1 a y Eu.1 b; figura Eu.1), al igual que en ambientes similares de regiones anteriores, los promedios de las tasas de sedimentación para todos los datos disponibles (figura Eu.1 a) muestran un aumento con el tiempo. Además, los factores de aumento de dichas tasas (AA-CC: 2,30; CC-DD: 2,98; AA-DD: 6,84) ponen de manifiesto una aceleración en los tiempos recientes. En el caso de los puntos que cuentan con tres datos temporales (figura Eu.1 b), los resultados ponen de manifiesto igualmente una aceleración del aumento de las tasas con el tiempo: AA-CC: 1,33; CC-DD: 2,06; AA-DD: 2,72

En los *humedales y lagunas en planicies de inundación* (tablas Eu.2 a y Eu.2 b; figura Eu.2), también ha habido un aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo. Los resultados utilizando todos los datos (figura Eu.2 a) muestran factores de aumento que sugieren una reducción de ritmo de crecimiento en la segunda mitad del siglo XX, y un aumento muy elevado en el conjunto del periodo considerado (AA-CC: 6,58; CC-DD: 4,37; AA-DD: 28,76). Sin embargo, el número de datos es pequeño, por lo que los valores anteriores tienen un significado limitado. Por supuesto, más limitado es aun el significado del promedio de los dos puntos que presentan datos para tres lapsos temporales (figura Eu.2 b). En este caso el crecimiento para el total del periodo es mucho más moderado (factor de aumento 4,99 para AA-DD). En este conjunto, como en el anterior, hay una marcada aceleración aritmética.

El caso de los *humedales y lagunas costeras* (tablas Eu.3 a y Eu.3 b; figura Eu.3), es poco significativo. Además de que solo hay datos para

cuatro lugares, estos solo tienen información sobre los dos últimos periodos. Los promedios obtenidos muestran un aumento muy ligero en el segundo, dentro del margen de error del método.

Los *depósitos en planicies de inundación* (tablas Eu.4 a y Eu.4 b; figura Eu.4), son los únicos que muestran una reducción en los promedios de las tasas de sedimentación al pasar del lapso AA al CC (figura Eu.4 a). Ahora bien, ese resultado parece estar muy condicionado por el único valor disponible para el primer periodo, que es anómalamente alto en comparación con los demás en esta categoría, y con el conjunto de los valores para el periodo AA en todos los ambientes y regiones. Si la representación se hace sin utilizar ese valor (figura Eu.4 b), se obtiene una imagen que es posiblemente más realista. No hay en este grupo ningún punto con datos para los tres lapsos temporales.

Aunque el número de lugares en *depósitos en cauces fluviales* (tablas Eu.5 a y Eu.5 b; figura Eu.5) no es muy escaso, todos ellos proporcionan datos solamente para el último periodo (DD), por lo que no se pueden sacar conclusiones sobre la evolución temporal. Sí que merece destacarse el elevado valor de las tasas en dicho periodo.

Los sedimentos acumulados en *reservorios artificiales* (tablas Eu.6 a y Eu.6 b; figura Eu.6), también muestran aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo. Utilizando todos los datos (figura Eu.6 a) se aprecia una marcada aceleración de las tasas en la segunda mitad del siglo XX (AA-CC: 1,63; CC-DD: 3,07; AA-DD: 4,99). Cuando se consideran solamente los puntos con 3 datos temporales (figura Eu.6 b), la tendencia es muy similar, si bien los valores de las tasas son menores, como ocurre en la mayoría de los casos.

La información obtenida sobre los deltas es muy escasa (tablas Eu.7 a y Eu.7 b; figura Eu.7), y no permite una interpretación medianamente fundamentada. Los datos sobre los dos puntos registrados, ambos con datos solamente para los dos últimos lapsos temporales, muestran un aumento con el tiempo, con tasas que aproximadamente se duplican del periodo CC al DD. Insistimos, el reducido número de datos hace que esto no sea muy significativo.

Bastante más significativos son los promedios para bahías y estuarios, basados en datos sobre más de 50 lugares (tablas Eu.8 a y Eu. 8 b; figura Eu.8). Nuevamente aparece un aumento de las tasas con el tiempo, si bien los factores de aumento entre los periodos AA-CC y CC-DD (2,15 y 1,93 respectivamente) prácticamente no varían para el conjunto de todos los

datos obtenidos pero si hay una marcada aceleración aritmética (figura Eu.8 a). Si el análisis se restringe a los lugares que cuentan con tres datos temporales (figura Eu.8 b), sí que se manifiesta una aceleración geométrica del crecimiento de las tasas en el último periodo.

Por último, los únicos dos datos obtenidos en depósitos de plataforma continental (tablas Eu.9 a y Eu. 9 b; figura Eu.9), también son poco significativos, aunque, como en la práctica totalidad de los ambientes analizados, muestren un aumento con el tiempo y unas tasas de sedimentación en el periodo DD que multiplican por 10 las del periodo CC.

En conjunto, al igual que en las otras tres regiones descritas hasta ahora, los datos agrupados por ambientes de sedimentación muestran de manera clara tanto un aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo, como una tendencia a su aceleración en la segunda mitad del siglo XX.

Análisis por áreas geográficas.

Como se señala en la introducción de este apartado, para el análisis por áreas geográficas en esta región se ha optado por agrupar los datos por países. Las agrupaciones establecidas han sido:

1. Islas Svalbard.
2. Rumania.
3. Alemania.
4. Alpes.
5. Francia y Benelux.
6. Península Escandinava.
7. Islas Británicas
8. Península Ibérica.
9. Italia.

Los resultados obtenidos se resumen en las tablas Eu.10 b a Eu.18 b, así como en las figuras Eu.10 a Eu.18.

El *archipiélago Svalbard* (antes conocido como Spitzberg, por su principal isla), es parte de Noruega y se sitúa al N del país, en el Océano Glaciar Ártico. Con una extensión de más de 61.000 km², su población no alcanza las 3000 personas. En este conjunto de islas se dispone de datos sobre 17 lugares, más de la mitad de ellos con tres datos temporales (tabla Eu.10 b y figura Eu.10). El análisis del conjunto de los datos (figura Eu.10 a) revela un aumento claro de las tasas de sedimentación con el tiempo, especialmente en la segunda mitad del pasado siglo. Dado que la mayoría de los puntos cuentan con datos para los tres lapsos temporales, cuando el análisis se restringe a estos puntos la imagen es muy similar (figura Eu.10 b). Es de señalar los valores extremadamente bajos de las tasas de sedimentación, que en muy pocos casos superan 1 mm/año en el periodo más reciente. Esto se explica, lógicamente, por la naturaleza del territorio y por la escasísima población existente. El aumento de las tasas de sedimentación que se constata probablemente se relaciona sobre todo con el incremento de la minería, que es la principal actividad económica de las islas. En los años 20 del pasado siglo tuvo lugar el reasentamiento de la población en el archipiélago, precisamente para la explotación minera (<https://www.spitsbergen-svalbard.com/>), actividad que se intensificó en la segunda mitad del siglo.

En *Rumania* se dispone de datos sobre 5 puntos, de los cuales solo uno cuenta con tres datos temporales (tabla Eu.11 b y figura Eu.11). También aquí los datos muestran un fuerte aumento de las tasas de sedimentación durante todo el periodo cubierto. El factor de aumento para AA-DD es de 4,66 con todos los datos (figura Eu.11 a) y de 7,06 si se toma solamente el único punto con datos para los tres lapsos temporales (figura Eu.11 b). Los factores de aumento para AA-CC y CC-DD son 1,67 y 2,79 en el primer caso, y 2,73 y 2,59 en el segundo, que muestra una fuerte aceleración aritmética.

Para *Alemania (y países vecinos)* se cuenta con 35 puntos, de los cuales solamente 5 tienen datos para los tres periodos establecidos (tabla Eu.12 b y figura Eu.12). Nuevamente, hay un crecimiento muy claro de las tasas de sedimentación con el tiempo, con un factor de aumento para todo el periodo analizado (AA-DD) > 27 si se utilizan todos los datos (figura Eu.12 a), y mucho más moderado si solo se usan los puntos con datos para los tres lapsos temporales (figura Eu.12 b). En los dos grupos de datos se pone de manifiesto la aceleración geométrica de las tasas a partir de mitad

del siglo XX, pues los factores de aumento para el periodo CC-DD son en ambos mayores que para AA-CC.

Los 30 puntos con información para la *región alpina* (Suiza y Austria), cuentan con datos temporales de tres periodos solamente en 5 de ellos (tabla Eu.13 b y figura Eu.13). Las imágenes proporcionadas por todos los datos (figura Eu.13 a) y por los correspondientes a puntos con tres datos temporales (figura Eu.13 b) son muy similares. En ambos casos se tienen aumentos generales de las tasas, así como crecimiento del factor de aumento a partir de mitad del siglo XX, expresión de una aceleración del proceso.

La agrupación correspondiente a *Francia y países del Benelux* (tabla Eu.14 b y figura Eu.14), engloba 20 puntos, para ninguno de los cuales hay datos sobre los tres lapsos considerados, y además hay un único dato para el periodo AA. Por ello en este caso, además de la representación para todos los datos (figura Eu.14 a), se han representado también los valores en puntos con dos datos (figura Eu.14 b). Naturalmente, las tendencias de variación están aquí peor definidas que en los grupos anteriores, si bien aparece con claridad el aumento de las tasas de sedimentación en la segunda mitad del pasado siglo.

En la *Península Escandinava* hay información sobre 13 puntos, 5 de ellos con tres datos temporales (tabla Eu.15 b y figura Eu.15). Se repite la pauta de la mayoría de los casos anteriores, hay un crecimiento claro de las tasas de sedimentación en el conjunto del periodo, que manifiesta una aceleración de su ritmo en el periodo DD, de tipo aritmético y marcada cuando se toman todos los puntos, y geométrica si se consideran los puntos con tres datos temporales (figura Eu.15 b), pero, aunque también hay crecimiento, eso no se manifiesta con el conjunto de los datos (figura Eu.15 a). Es notable la diferencia entre los valores absolutos de las tasas en ambos grupos de puntos, mucho más bajas en este último.

De los 33 puntos sobre los que se ha recabado información en las *Islas Británicas*, en 7 hay datos sobre tres lapsos temporales (tabla Eu.16 b y figura Eu.16). Ambos conjuntos muestran tendencias muy similares, aumento general de las tasas de sedimentación en todo el periodo cubierto y aceleración del proceso a partir de mitad del siglo pasado. Como en muchos otros casos, los valores absolutos de las tasas en el último periodo son mayores para el conjunto de los datos (figura Eu.16 a), y la aceleración de las mismas más marcada para los puntos con tres valores (figura Eu.16 b).

La *Península Ibérica* es la zona para la que se han obtenido más datos (tabla Eu.17 b y figura Eu.17). Esto no necesariamente significa que en esta región haya más trabajos sobre el tema, sino que puede deberse a que el autor está más familiarizado con los mismos, al haberse realizado una parte apreciable de ellos por el equipo de investigación al que pertenece (ver apartado siguiente de esta memoria). Hay un total de 43 puntos con datos, más de la mitad de ellos con información para los tres lapsos temporales. Las tendencias son prácticamente las mismas que en la región anterior. Crecimiento general de las tasas a lo largo del periodo cubierto y aceleración a partir de mitad del siglo pasado. También, los valores absolutos de las tasas son más altos en el último periodo para el conjunto de los datos (figura Eu.17 a), y la aceleración de las mismas más acusada para los puntos con tres valores (figura Eu.17 b).

Finalmente, en *Italia* se dispone de información sobre 5 lugares, todos ellos en la zona de la costa adriática y solo uno de ellos con tres datos (tabla Eu.18 b y figura Eu.18). La tendencia general de incremento de las tasas de sedimentación es patente en ambos grupos de datos, si bien mucho más definido cuando se consideran todos los (figura Eu.18 a), que cuando se toma el único con datos para los tres periodos (figura Eu.18 b). También ocurre lo mismo con la aceleración del proceso.

Síntesis del conjunto.

Desde hace tiempo, diferentes autores han señalado la existencia de aumentos de las tasas de sedimentación en distintos países de Europa y en ambientes bastante diversos. Appleby & Oldfield (1978) encontraron ese aumento, que atribuyeron a la actividad humana, en lagos de Gran Bretaña. Algo similar muestran los trabajos de Foster & Walling (1994), Oldfield et al (1999), Foster & Lees (1999 a, b), Walling et al (2003) o Yelof et al (2005), en distintos reservorios de las Islas Británicas, que pusieron de manifiesto aumentos de las tasas de sedimentación con posterioridad a los años 50, atribuidos por varios de esos autores a los efectos de las actividades humanas.

En lagos de la Península Escandinava, Routh et al (2007) comentan que se ha producido un aumento de las tasas de sedimentación atribuible al impacto de las actuaciones humanas. Lo mismo señalan Appleby (2004), Boyle (2004) y Rose (2004) en el caso de las islas Svalbard, lo que es particularmente interesante, dada su escasísima población.

En la zona alpina, los trabajos de Von Guten et al (1997), Appleby et al (1997), Albrecht et al (1998), Kamenik et al (2000), Appleby (2000), Putyrskaya et al (2015), encuentran tasas elevadas de sedimentación para el período posterior a la segunda mitad del pasado siglo, que según los autores reflejan complejas interacciones entre factores antrópicos y climáticos.

Para la región compuesta por Alemania, Polonia, Eslovaquia y República Checa, los trabajos de Prange et al (1997), Rose et al (1999), Appleby (2000), Tylmann (2004), Gasiorowski (2008), Selig & Leipe (2008), Tylmann et al (2008) y Serna (2010), presentan resultados que muestran reducción, estabilidad o aumento de las tasas de sedimentación en distintos ambientes, si bien predominan los lugares en los que aumentan.

Por su parte, Foster et al (1998), Hobo et al (2010), Détriché et al (2010), Vrel et al (2013) y Ciszewski & Czajka (2015), encuentran aumentos de las tasas en distintos ambientes fluviales (planicies de inundación y cauces) en Francia, Holanda y Polonia, tasas que en algún caso superan 40 mm/año.

Los trabajos de Vaalgamaa (2004), Vaalgamaa & Korhola (2004), Vaalgamaa & Conley (2008) Szmytkiewicz & Zalewska (2014), sobre bahías y estuarios también muestran la tendencia creciente de las tasas de sedimentación, con factores de aumento en general de 3-5. De particular interés en este sentido son los resultados sobre el N de España, obtenidos en gran parte por el equipo de investigación al que pertenece este autor, y que cuentan con datos sobre tasas de sedimentación que cubren de manera bastante continua desde finales del siglo XIX. Por su especial interés en relación con este trabajo, dado que consideran las posibles relaciones con los impulsores, el análisis de esta región se presenta con más detalle en el apartado siguiente.

El conjunto de los resultados obtenidos por medio de nuestro análisis, permiten establecer de forma bastante más firme la existencia de un aumento de las tasas de sedimentación que parece tener carácter generalizado en el continente europeo. Además, que dicho aumento ha experimentado una aceleración en las últimas décadas.

Los promedios de las tasas de sedimentación en el periodo más reciente (DD, considerando todos los datos), sin incluir, por su carácter especial el caso de Svalbard, varían desde 4,53 mm/año hasta 17,67 mm/año. Los países con los valores más altos, son Alemania y

Francia+Benelux. Los que presentan valores más bajos la Península Ibérica y Rumania, seguidos de la Península Escandinava. Los primeros son áreas de alta densidad de población y los segundos tienen densidades bastante bajas. Puede que esto sea una simple coincidencia, pero podría no serlo. Los factores de aumento para el conjunto del periodo analizado (AA-DD) se encuentran entre 1,22 y 7,6 si se toman los puntos con datos para tres periodos y entre 2,27 y 27,69 considerando todos los datos. En ambos casos esos factores presentan una distribución irregular entre los países, que no podemos interpretar en términos de una posible relación con la densidad de población, ni con la evolución de la actividad humana en los mismos a lo largo del último siglo, sobre la que no disponemos de datos que nos permitan abordar ese análisis.

Como en las otras zonas de estudio, se han obtenido los promedios de los resultados para el conjunto, utilizando tanto todos los puntos (figura Eu.19 a) como solamente los correspondientes a puntos con tres datos de tasas (figura Eu.19 b). En ambos casos se pone de manifiesto, además del incremento general de las tasas, una aceleración del crecimiento de las mismas a partir de mitad del siglo XX, puesto muy claramente de manifiesto por los crecientes factores de aumento que los dos conjuntos de datos presentan.

La variación del PIB, a partir de una serie de datos de unos 200 años, se muestra en la figura Eu.20. La aceleración del crecimiento del PIB es también patente, con un ligero retraso con respecto a los Estados Unidos. Es muy patente la fuerte inflexión después de la Segunda Guerra Mundial. Tanto en Europa como en Estados Unidos, por tanto, el inicio de la “Gran Aceleración” se produce con unos 30 años de antelación en comparación con China o India.

La comparación entre los promedios de las tasas de sedimentación para todos los puntos (figura Eu.21 a) y para los puntos con tres datos temporales (figura Eu.21 b), con los promedios del PIB, arroja resultados que, de nuevo, se parecen más a los de Estados Unidos que a los de China o India. Dentro del paralelismo general entre ambas variables, la similitud es bastante mayor cuando se consideran los promedios de tasas de sedimentación para todos los puntos. Además, al igual que en Estados Unidos, el factor de aumento del PIB (17,83) es bastante mayor que el de las tasas de sedimentación (8,05 y 2,67), si bien en este caso la diferencia es menos acusada.

Las variaciones de las precipitaciones en el continente (figura Eu.22) presentan una considerable diversidad. Con los datos desde 1900 (figura

Eu.22 a), se aprecia que a partir de mitad de siglo hay una tendencia al aumento en el N del continente, y una no muy definida tendencia a la disminución en el ámbito mediterráneo. Por su parte, dentro de una tónica general de cambios poco acusados desde 1950 (figura Eu.22 b), se observa que la evolución no ha seguido la misma tendencia en las diferentes regiones. Esto es, esta comparación inicial no muestra relación entre las tendencias evolutivas que muestran las lluvias y las de las tasas de sedimentación.

Síntesis por países

En Europa el análisis de las relaciones entre tasas de sedimentación y PIB se ha realizado también para los distintos países o áreas geográficas. Evidentemente, en las otras regiones estudiadas esto es mucho más difícil de abordar, al no disponerse de datos de PIB para las grandes unidades consideradas. Los resultados correspondientes a los países o agrupaciones de países utilizadas para el análisis de las tasas de sedimentación se muestran en las figuras que se relacionan a continuación. En cada caso se indican los países cuyos PIB se han sumado en las distintas agrupaciones. Por razones fáciles de entender, en el análisis que sigue no se incluyen las Islas Svalbard, si bien los resultados obtenidos se ajustan bien al modelo que se trata de comprobar.

Rumania: R.1-6.

Alemania, Polonia, Eslovaquia, República Checa: D.1-6.

Región alpina (Austria y Suiza): RA.1-5.

Francia y Benelux: F.1-6.

Península Escandinava (Suecia, Noruega, Finlandia): PE.1-6.

Islas Británicas (Reino Unido e Irlanda): IB.1-6.

Península Ibérica (España y Portugal): PI.1-6.

Italia: I.1-5.

Resumiendo lo dicho más arriba, en todos los casos hay aumento de las tasas de sedimentación a lo largo del periodo considerado (figuras 1 y 2 para todas las agrupaciones de países), y solamente hay un caso (Francia + Benelux) en el que hay una aparente disminución del primero al segundo periodo, si bien esta es dudosa, por deberse a un único dato, que además es anómalamente elevado en comparación con la gran mayoría de los obtenidos en el continente. Los promedios obtenidos con todos los puntos y también con los que tienen tres datos temporales, muestran una aceleración en todos los casos menos en Italia (puntos con 3 datos). En todos los demás casos, se aprecia aceleración geométrica en 71 y aritmética en 3, de los cuales solamente 1 cuando se toman puntos con 3 datos temporales.

Los datos relativos al PIB (figuras 3 para todas las agrupaciones de países) revelan en todos los casos aumentos considerables del mismo a partir de final de la Segunda Guerra Mundial. La inflexión se sitúa un poco antes en el caso de la Península Escandinava y las Islas Británicas, y un poco después en los de Rumania y la Península Ibérica. Los factores de aumento de las tasas son menores que los del PIB, con la única excepción de Rumania. Los factores de aumento de las tasas de sedimentación para todos los puntos oscilan entre 3,28 y 13,99 (eliminando los valores extremos de 2,27 y 27,7). En el caso de los puntos con tres datos la horquilla es 1,69 – 3,55 (eliminando también los extremos de 1,52 y 7,06). Los valores de los factores de aumento del PIB en el conjunto del periodo analizado se encuentran en el rango 5,42 (Rumania) a 30,27 (Península Escandinava). Si se eliminan estos valores extremos, el rango es 8,72 – 15,8. Esto es, la imagen que proporcionan la mayoría de los países o agrupaciones de países cuando se toman por separado, es muy similar a la del conjunto del continente.

La superposición de los promedios del PIB y de las tasas de sedimentación (figuras 4 y 5 para todas las agrupaciones de países) muestra en la mayoría de los casos un grado apreciable de paralelismo (se exceptúa Francia y Benelux, por lo ya indicado). Lo que es diferente de lo encontrado en otros casos, es que el grado de similitud entre ambas gráficas no mejora cuando en vez del promedio de todos los puntos se usan solamente los que tienen tres datos. Empeora de manera acusada en la Región Alpina, Península Escandinava e Italia, lo hace en menor medida en Alemania (y agrupados), y casi no varía en Rumania, Islas Británicas y Península Ibérica.

Finalmente, los registros de las precipitaciones desde 1950 ponen de manifiesto unas pautas de variación diferentes en las distintas zonas analizadas (figuras 6 para todas las agrupaciones de países). Se aprecian tendencias a la disminución en Rumania, Península Ibérica e Italia, al aumento en las Islas Británicas y Península Escandinava, y estabilidad en las demás zonas. Esto es, no parece haber correspondencia entre las tendencias de variación de las lluvias y de las tasas de sedimentación.

En resumen, el análisis por países muestra una aceleración de las tasas de sedimentación a partir de mitad de siglo, y una relación mucho más estrecha con el PIB que con las lluvias.

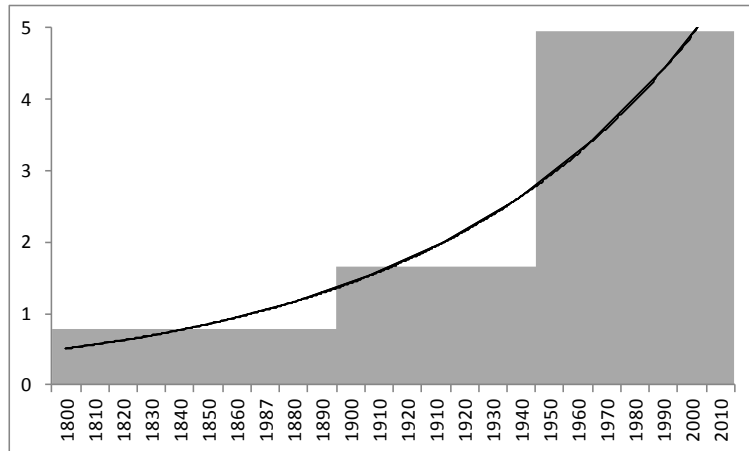


Figura Eu.1 a. Lagos. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,30; CC-DD: 2,98; AA-DD: 6,84.

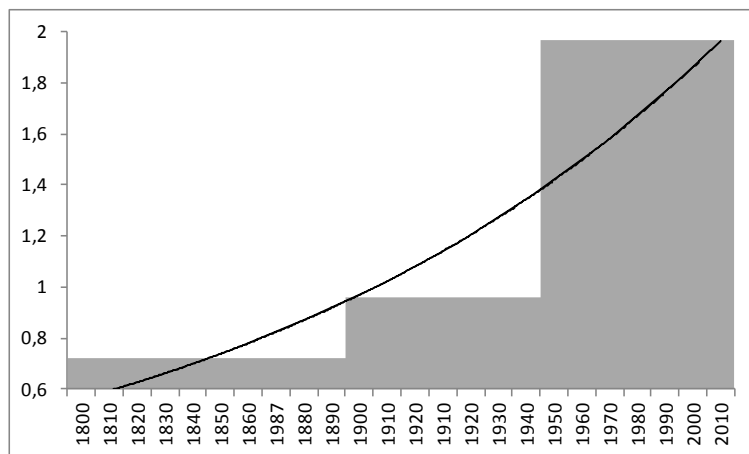


Figura Eu.1 b. Lagos. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,33; CC-DD: 2,06; AA-DD: 2,72.

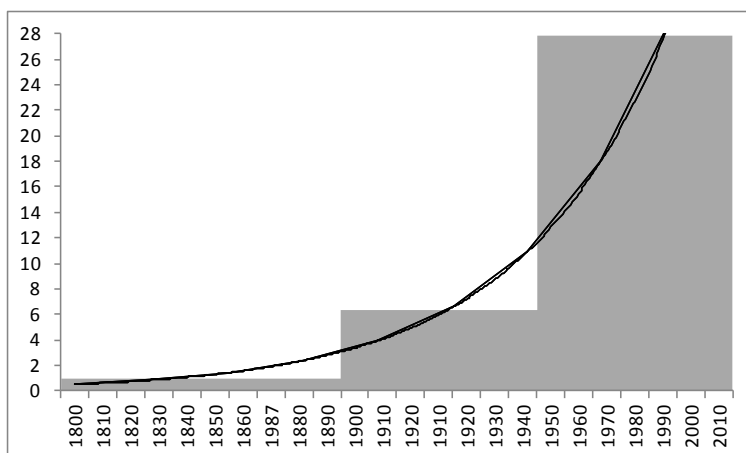


Figura Eu.2 a. Humedales y lagunas en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 6,58; CC-DD: 4,37; AA-DD: 28,76

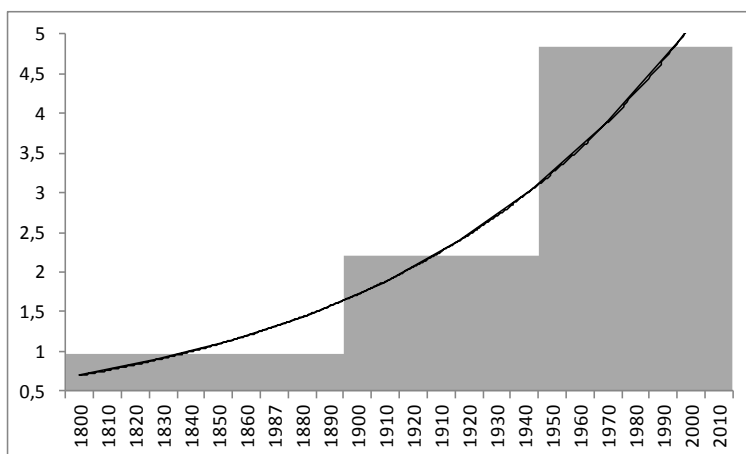


Figura Eu.2 b. Humedales y lagunas en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,27; CC-DD: 2,20; AA-DD: 4,99

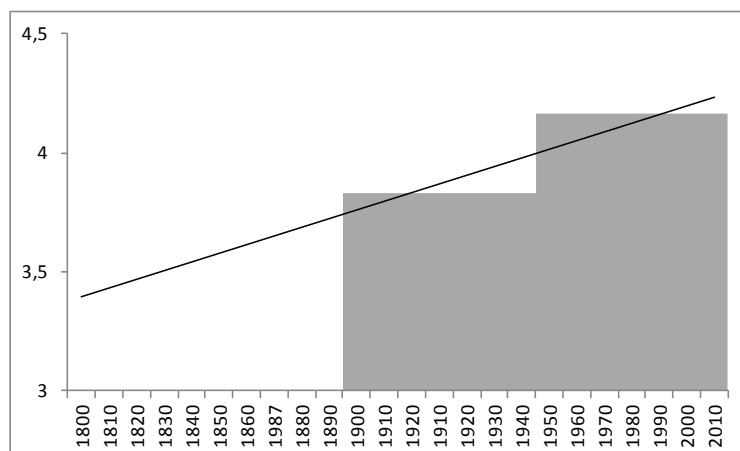


Figura Eu.3 a. Humedales y lagunas costeras. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 1,09.

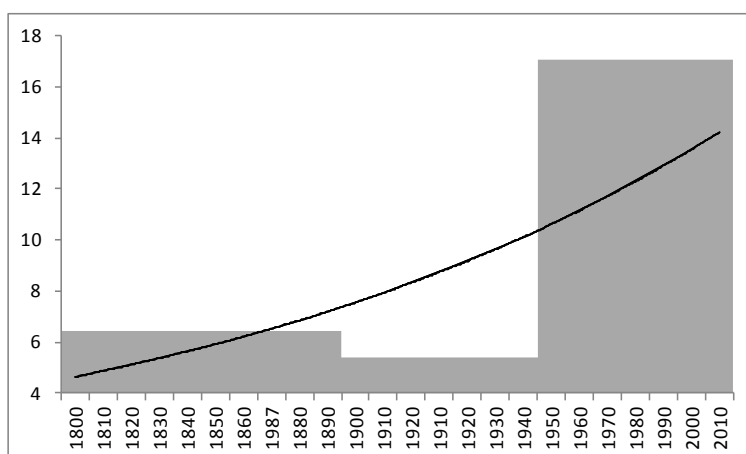


Figura Eu.4 a. Depósitos en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 0,83; CC-DD: 3,19; AA-DD: 2,65.

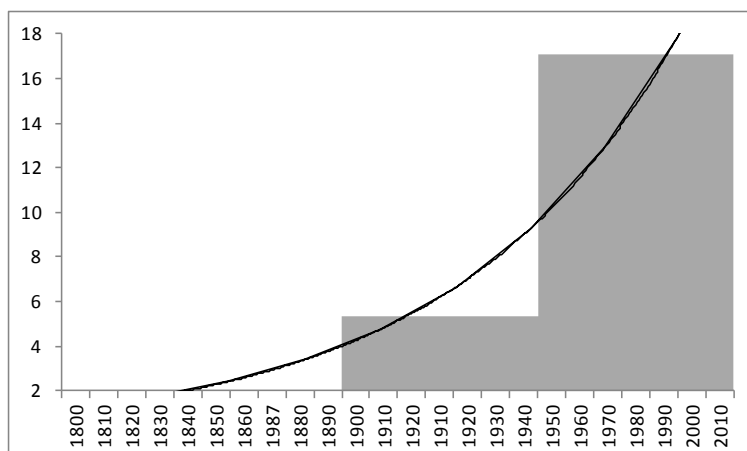


Figura Eu.4 b. Depósitos en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación suprimiendo el punto del lapso temporal AA (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 3,19.

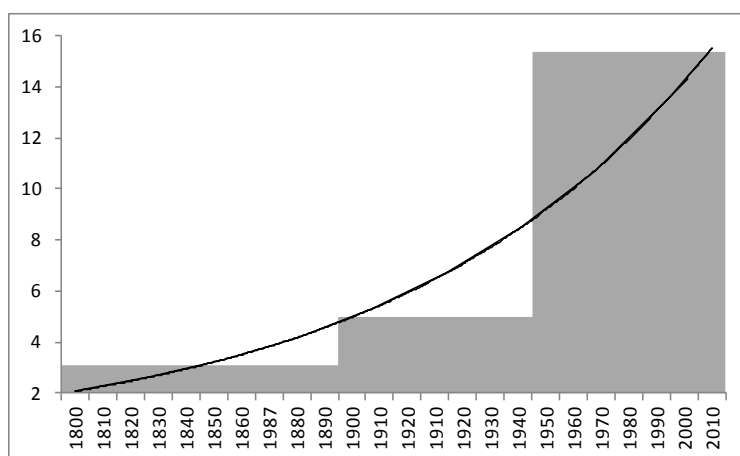


Figura Eu.6 a. Reservorios. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,63; CC-DD: 3,07; AA-DD: 4,99.

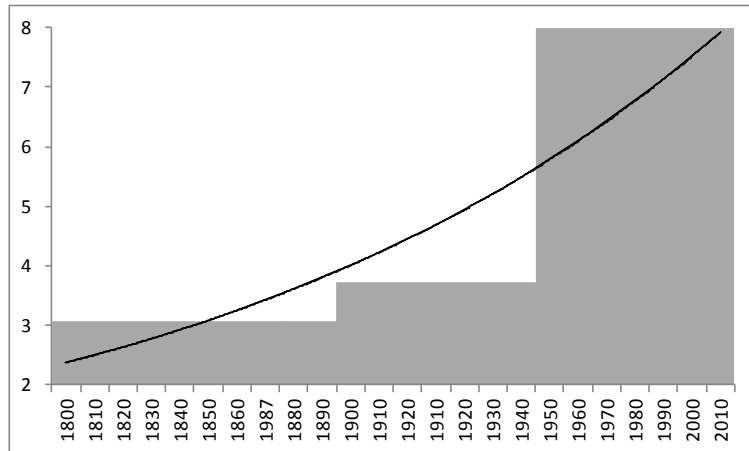


Figura Eu.6 b. Reservorios. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,21; CC-DD: 2,20; AA-DD: 2,66.

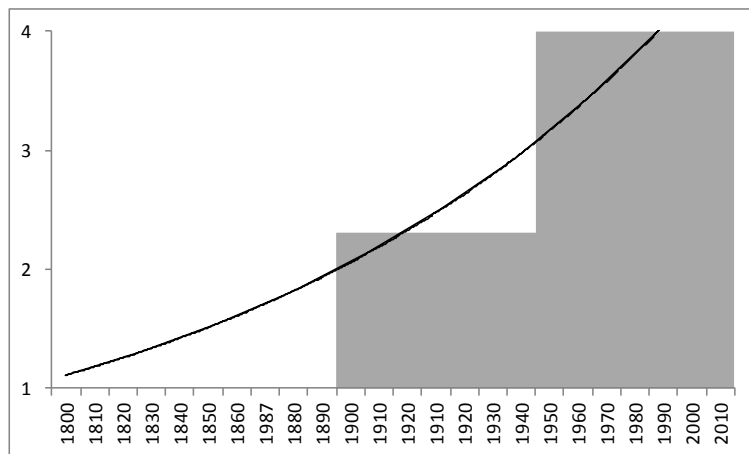


Figura Eu.7. Deltas. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 1,77.

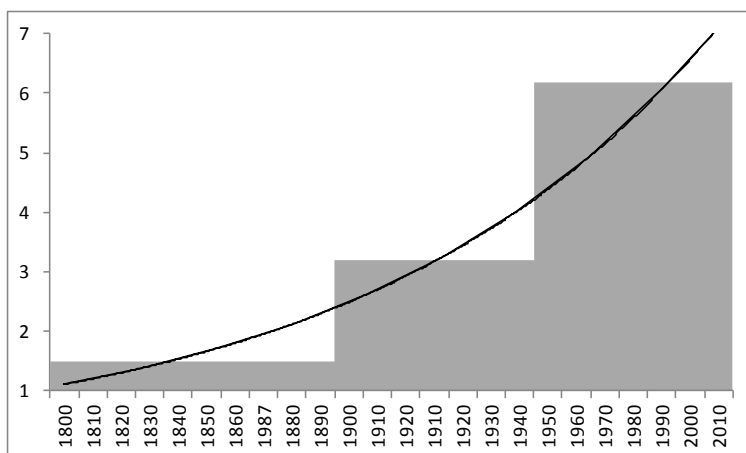


Figura Eu.8 a. Bahías y estuarios. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,15; CC-DD: 1,93; AA-DD: 4,17.

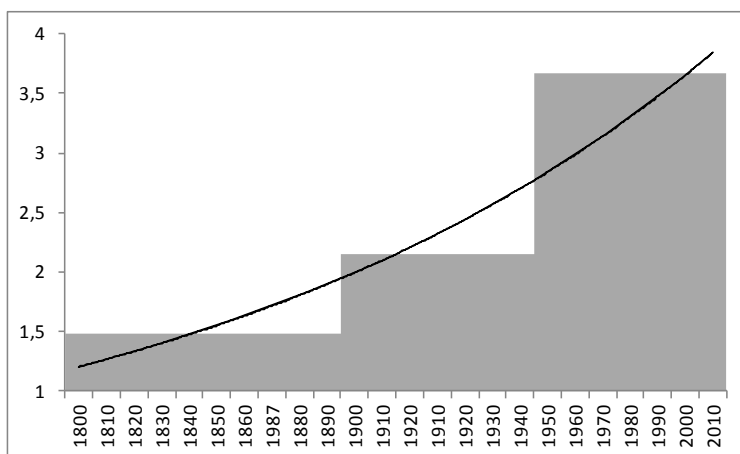


Figura Eu.8 b. Bahías y estuarios. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,45; CC-DD: 1,71; AA-DD: 2,48.

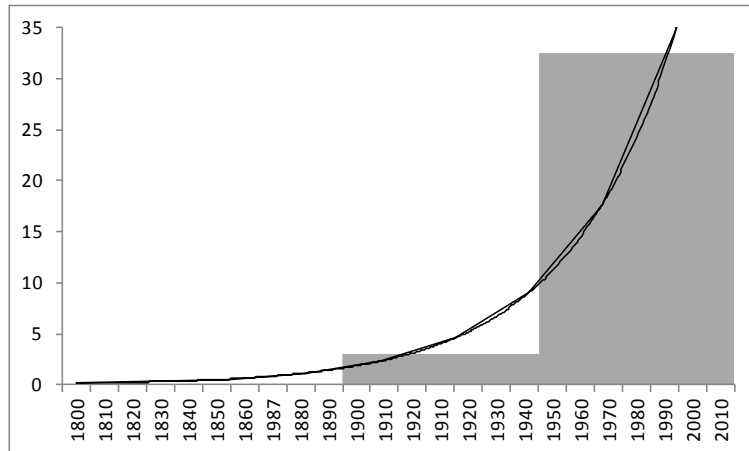


Figura Eu.9. Depósitos en costas continentales. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 10,38.

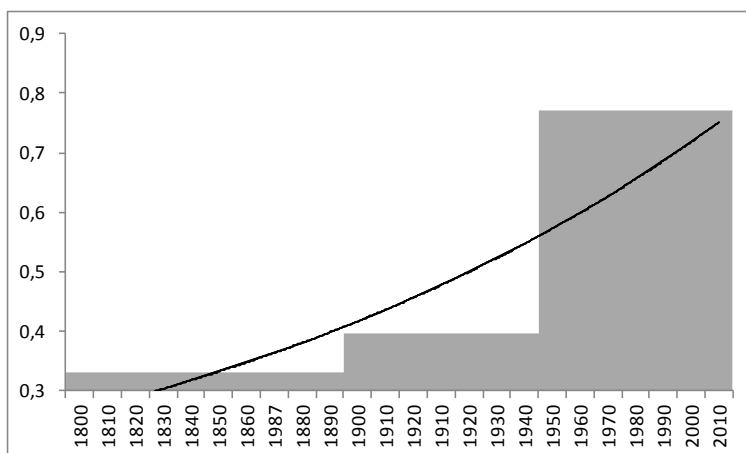


Figura Eu.10 a. Svalbard. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,20; CC-DD: 1,95; AA-DD: 2,33.

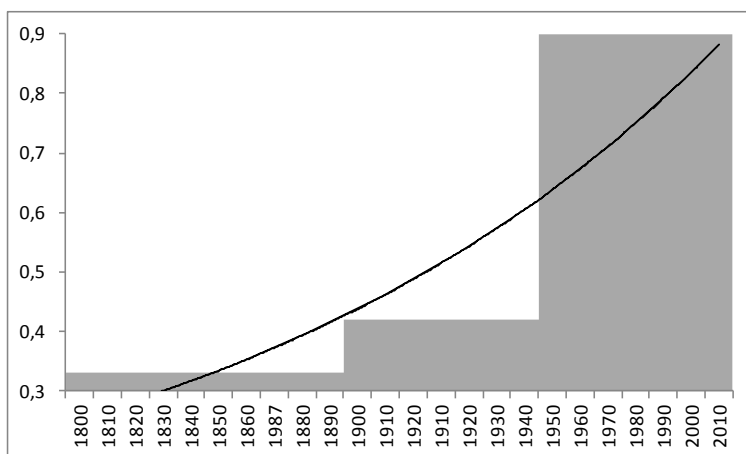


Figura Eu.10 b. Svalbard. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,27; CC-DD: 2,15; AA-DD: 2,72.

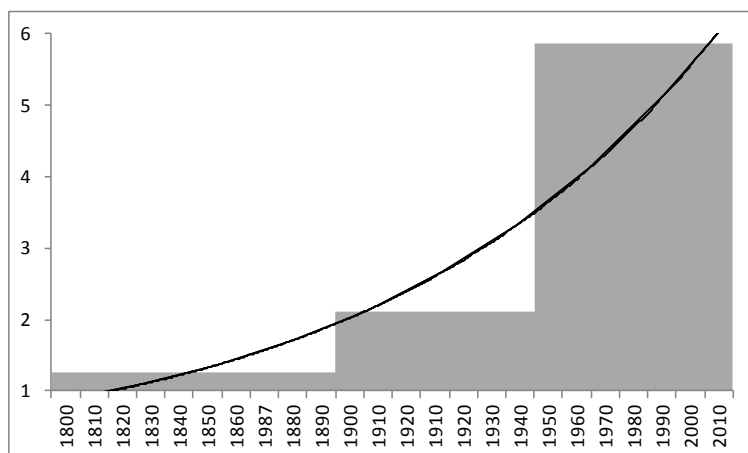


Figura Eu.11 a. Rumania. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,67; CC-DD: 2,79; AA-DD: 4,66.

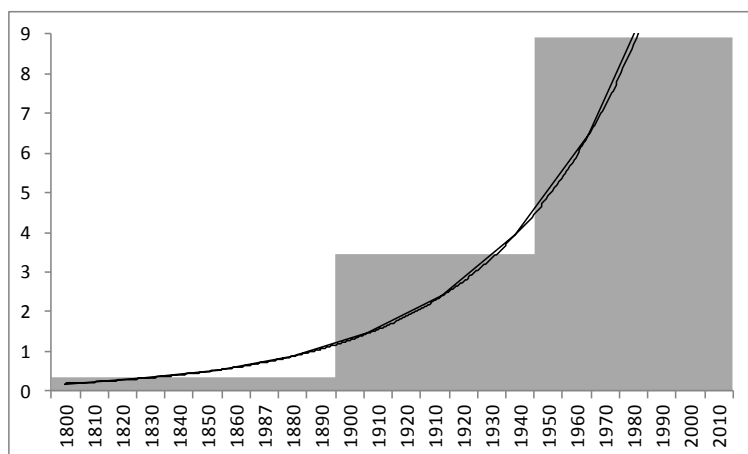


Figura Eu.11 b. Rumania. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,73; CC-DD: 2,59; AA-DD: 7,06.

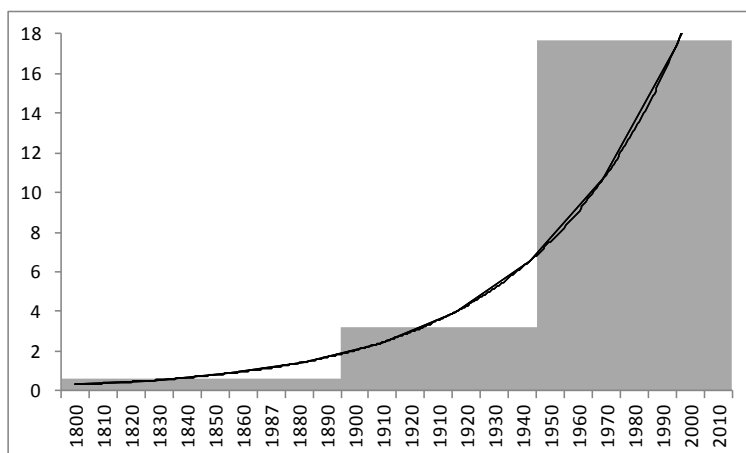


Figura Eu.12 a. Alemania, Polonia, Eslovaquia y República Checa. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 5,04; CC-DD: 5,50; AA-DD: 27,70.

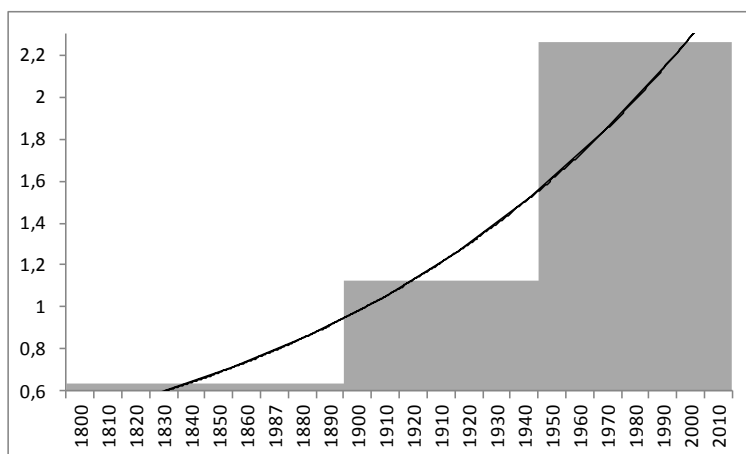


Figura Eu.12 b. Alemania, Polonia, Eslovaquia y República Checa. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,76; CC-DD: 2,01; AA-DD: 3,55.

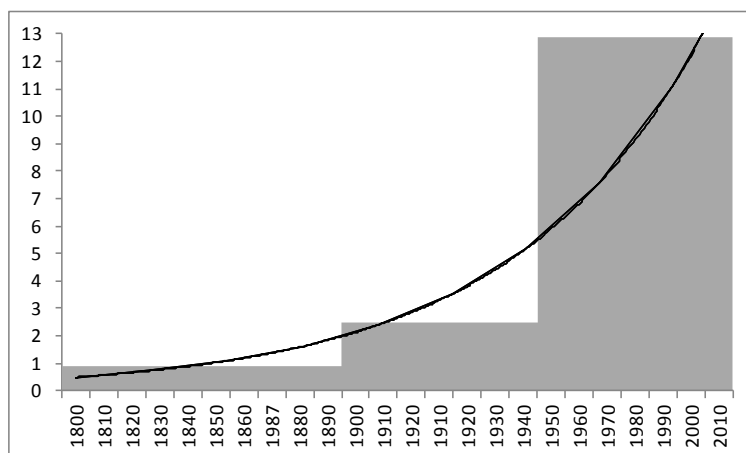


Figura Eu.13 a. Región de los Alpes. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,70; CC-DD: 5,17; AA-DD: 13,99.

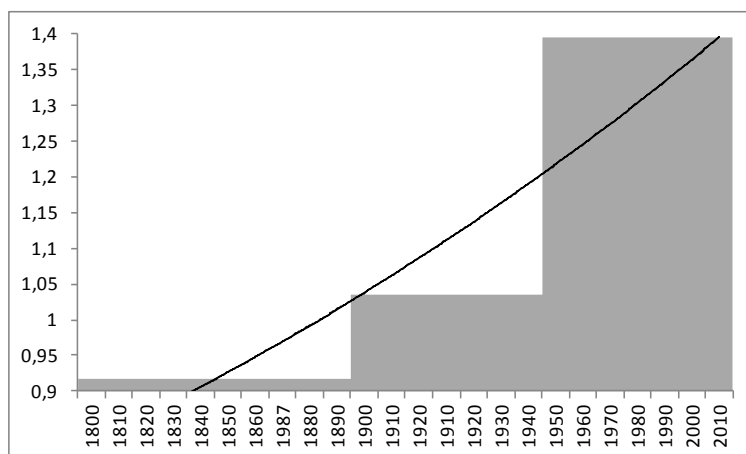


Figura Eu.13 b. Región de los Alpes. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,13; CC-DD: 1,35; AA-DD: 1,52.

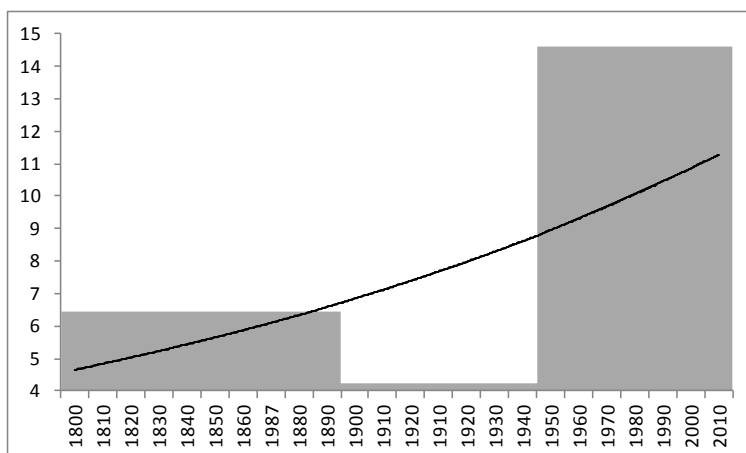


Figura Eu.14 a. Francia, Bélgica, Luxemburgo, Holanda. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: -0.66; CC-DD: 3.45; AA-DD: 2.27.

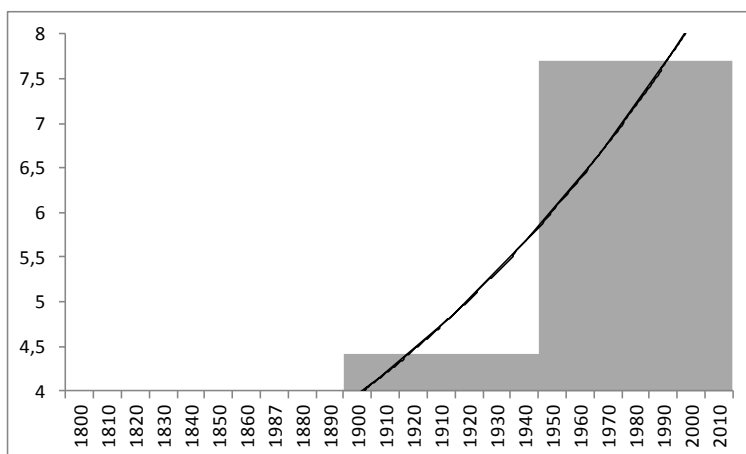


Figura Eu.14 a. Francia, Bélgica, Luxemburgo, Holanda. Tasas medias de sedimentación suprimiendo el valor del período AA (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 1.74.

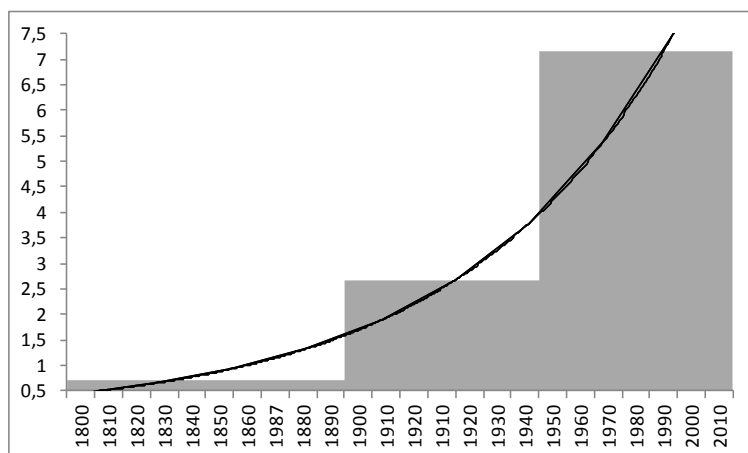


Figura Eu.15 a. Península Escandinava. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,74; CC-DD: 2,67; AA-DD: 9.98.

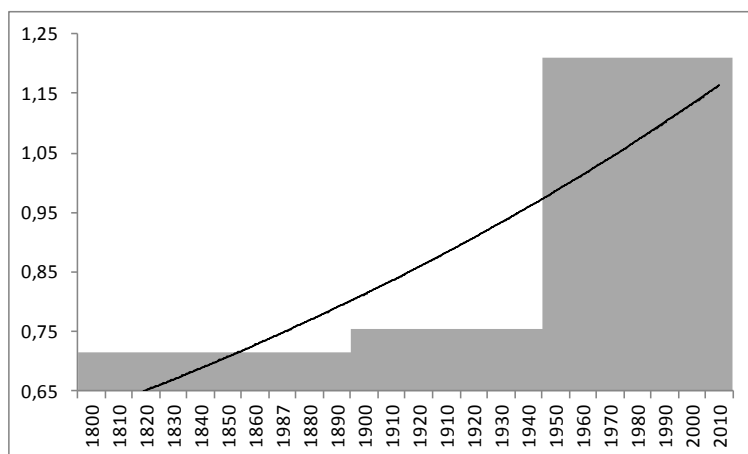


Figura Eu.15 b. Península Escandinava. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,05; CC-DD: 1,60; AA-DD: 1,69.

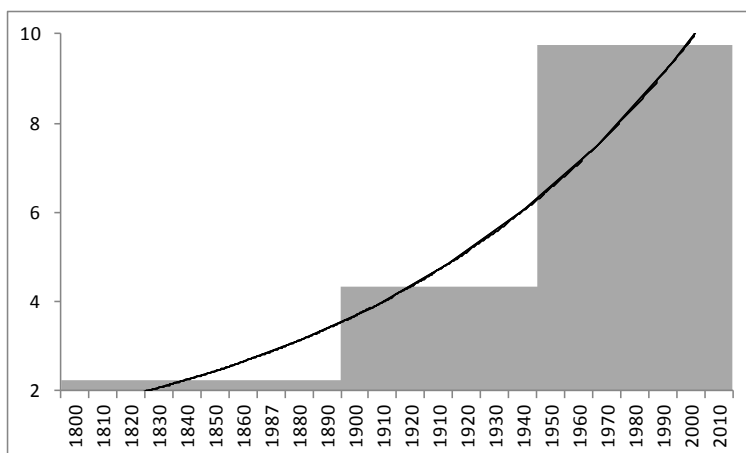


Figura Eu.16 a. Islas Británicas. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,94; CC-DD: 2,25; AA-DD: 4,36.

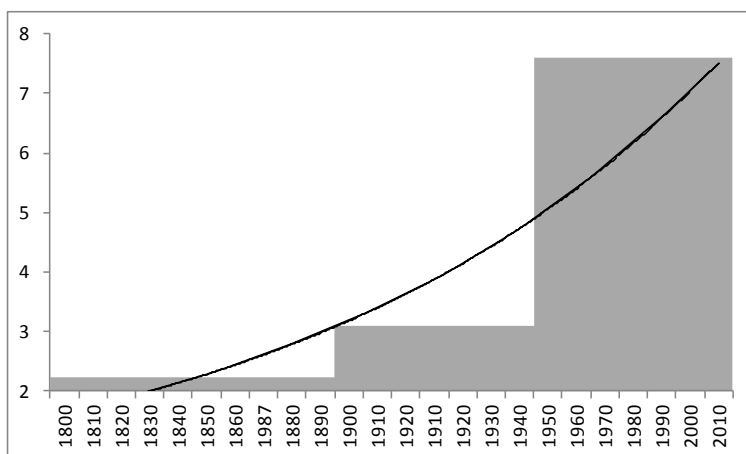


Figura Eu.16 b. Islas Británicas. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,38; CC-DD: 2,46; AA-DD: 3,40.

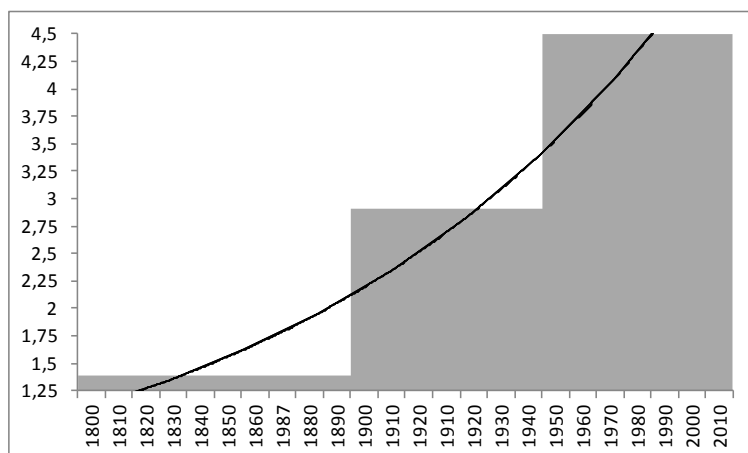


Figura Eu.17 a. Península Ibérica. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,10; CC-DD: 1,56; AA-DD: 3,28.

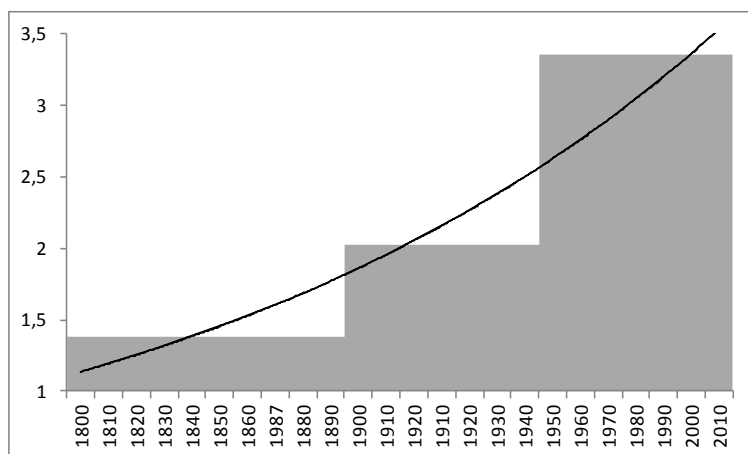


Figura Eu.17 b. Península Ibérica. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,41; CC-DD: 1,70; AA-DD: 2,39.

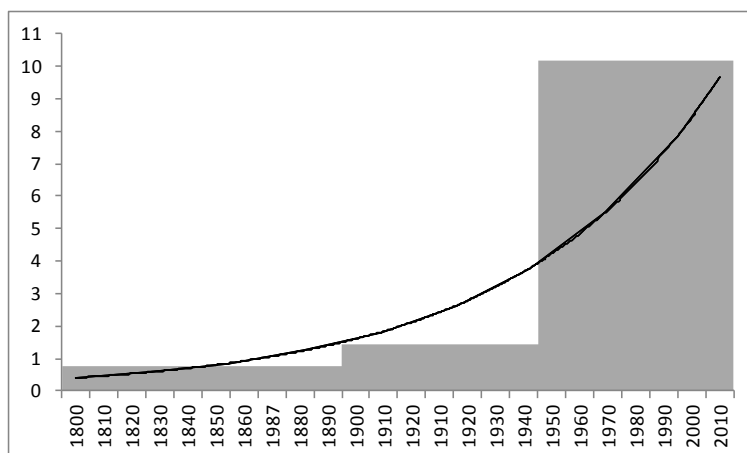


Figura Eu.18 a. Italia. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,83; CC-DD: 7,12; AA-DD: 13,06.

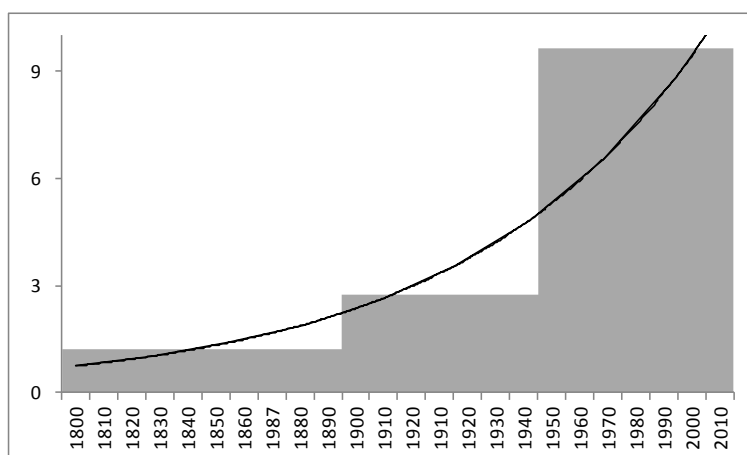


Figura Eu.19 a. Europa. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,30; CC-DD: 3,49; AA-DD: 8,05

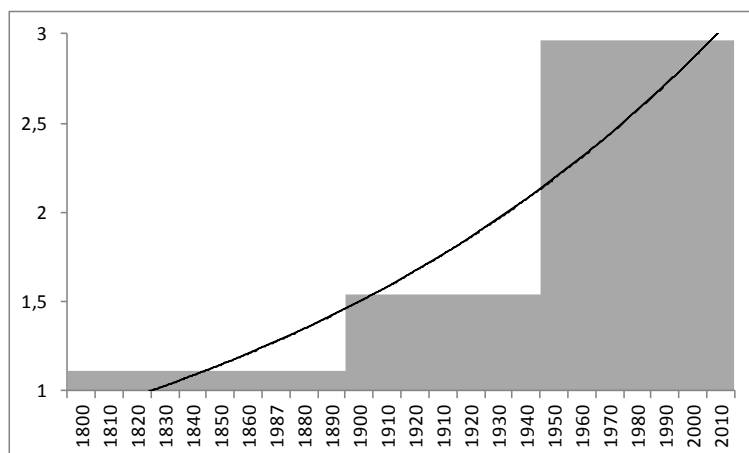


Figura Eu.19 b. Europa. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,39; CC-DD: 1,92; AA-DD: 2,67

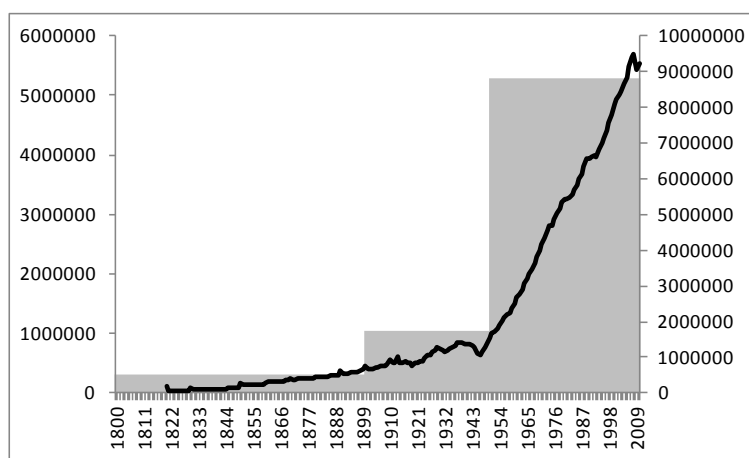


Figura Eu.20. Europa. Evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 3,52; CC-DD: 5,07; AA-DD: 17,83

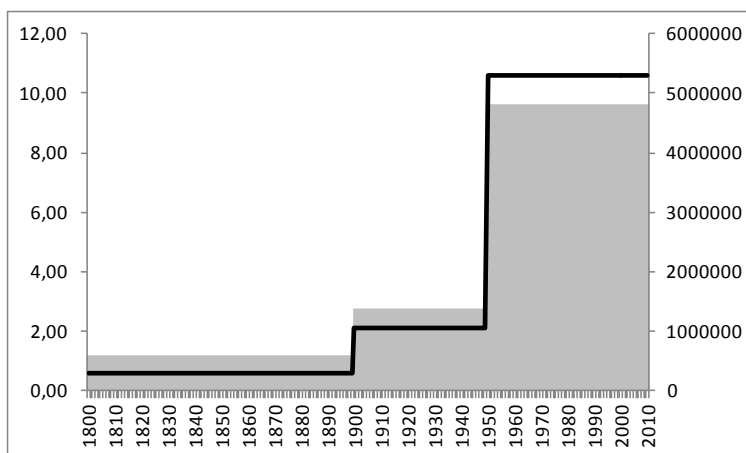


Figura Eu.21 a. Europa. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB.

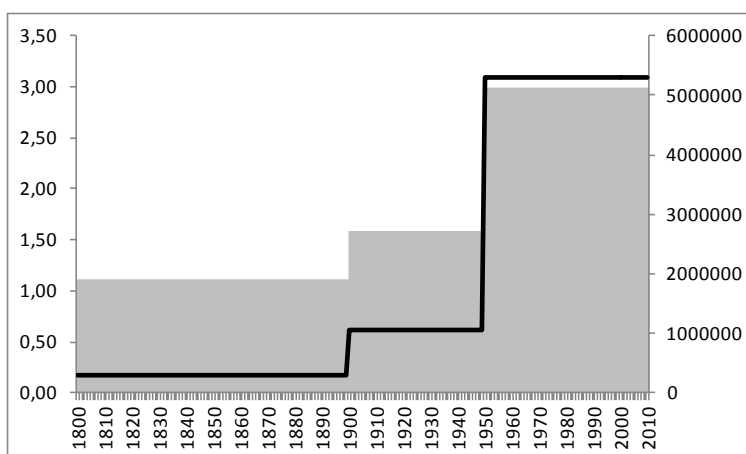


Figura Eu.21 b. Europa. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

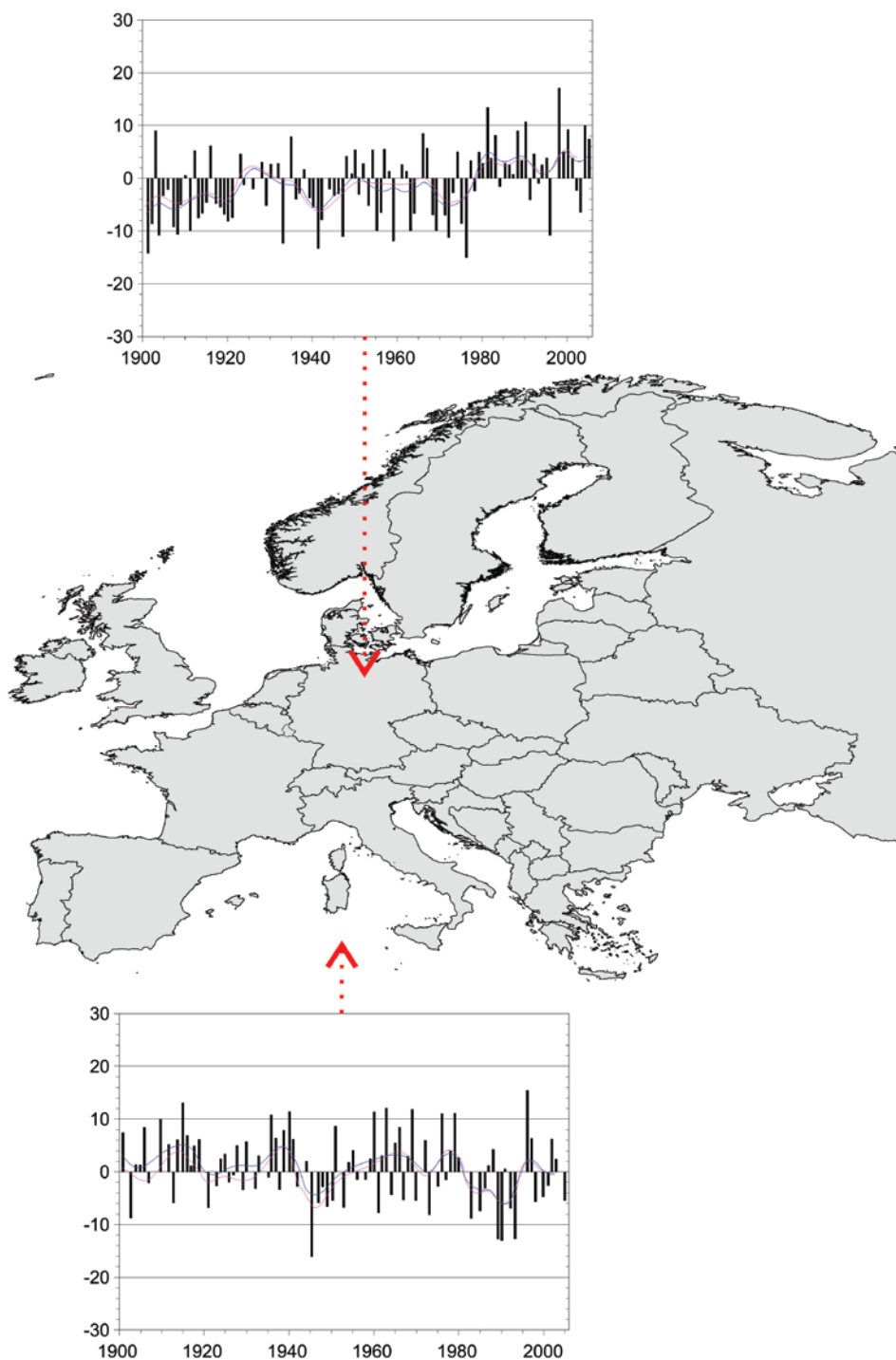


Figura Eu.22 a. Desvíos sobre la precipitación media anual (en %) 1900-2005, en Norte de Europa y zona del Mediterráneo. IPCC (2007).

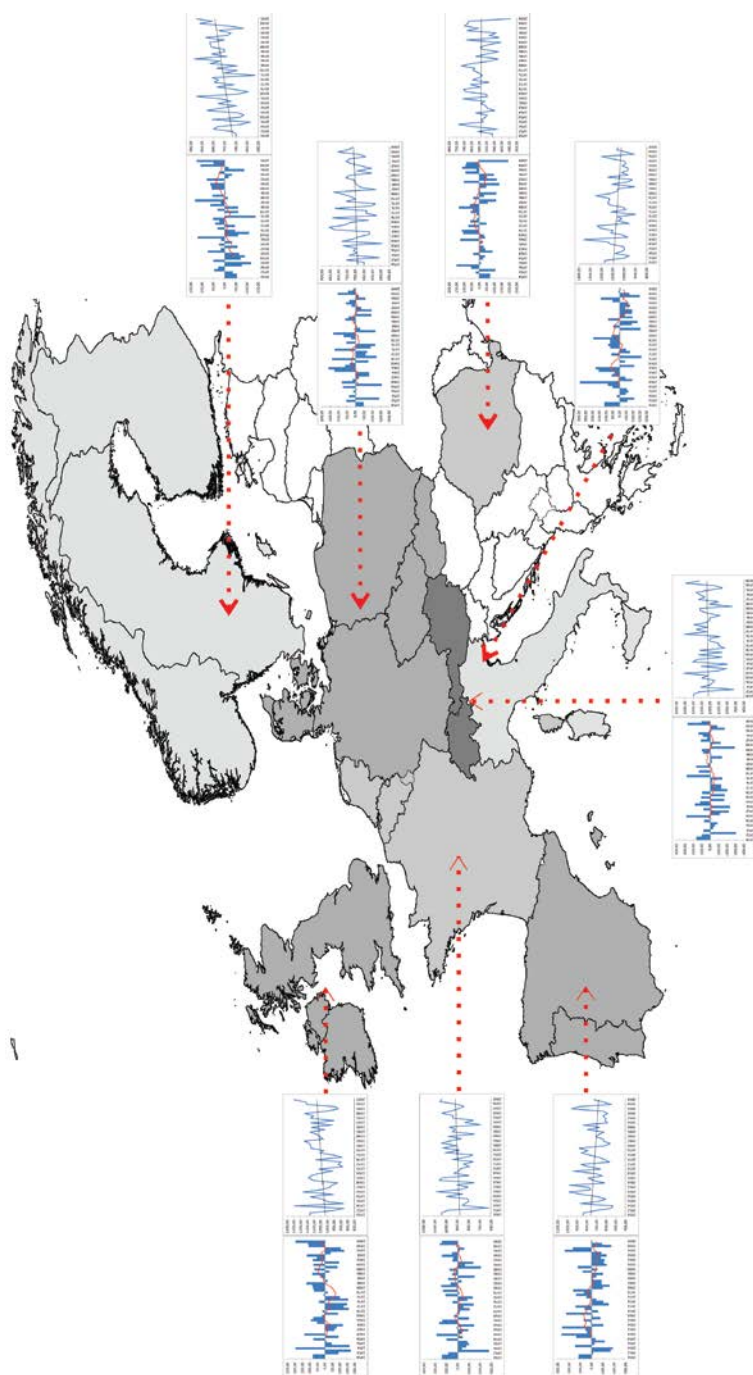


Figura Eu.22 b. Representación conjunta de la precipitación total anual y desvíos sobre la precipitación media anual (mm) 1950-2000 en los distintos países/regiones de Europa, correspondientes a las Figuras Eu.2-9.

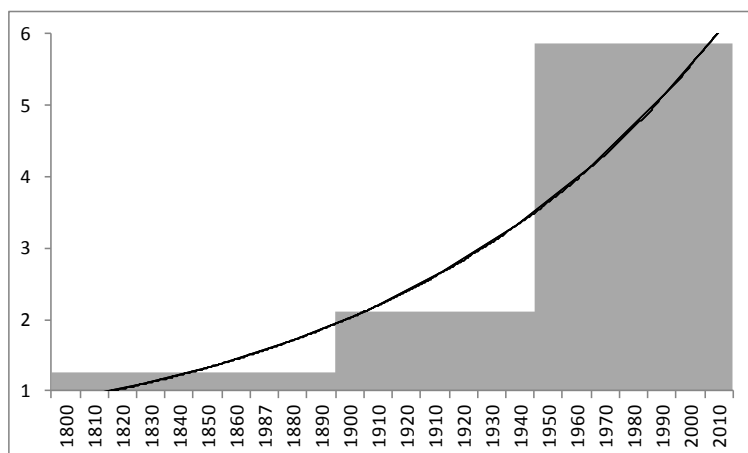


Figura R.1. Rumania. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,67; CC-DD: 2,79; AA-DD: 4,66

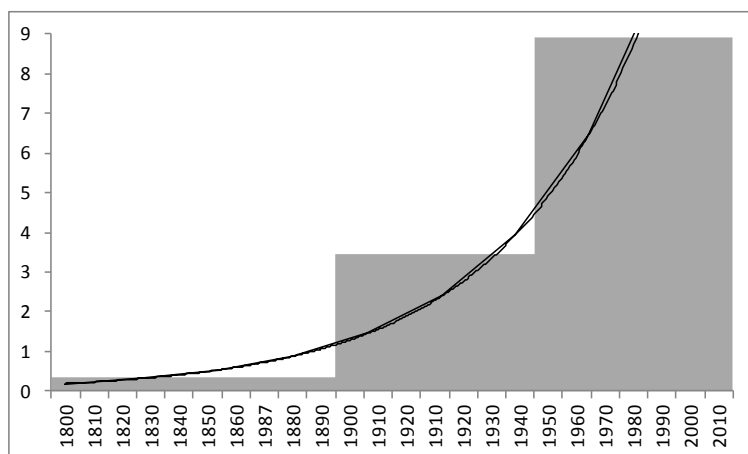


Figura R.2. Rumania. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,73; CC-DD: 2,59; AA-DD: 7,06

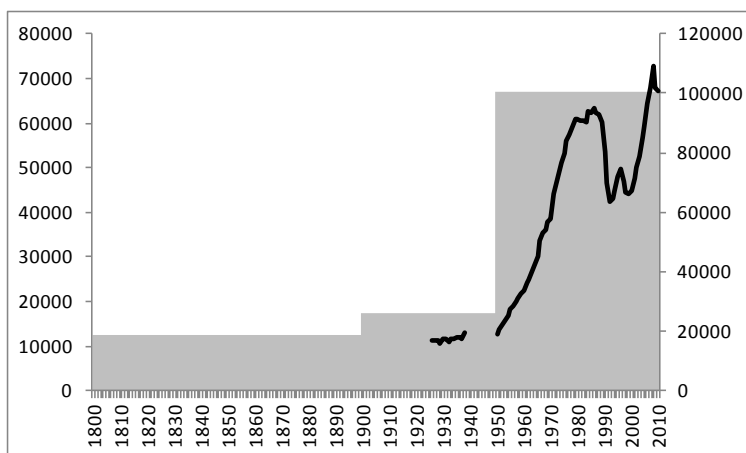


Figura R.3. Rumania. Evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos y promedio de cada uno de los lapsos temporales. Factores de aumento: AA-CC: 1,42; CC-DD: 3,81; AA-DD: 5,42

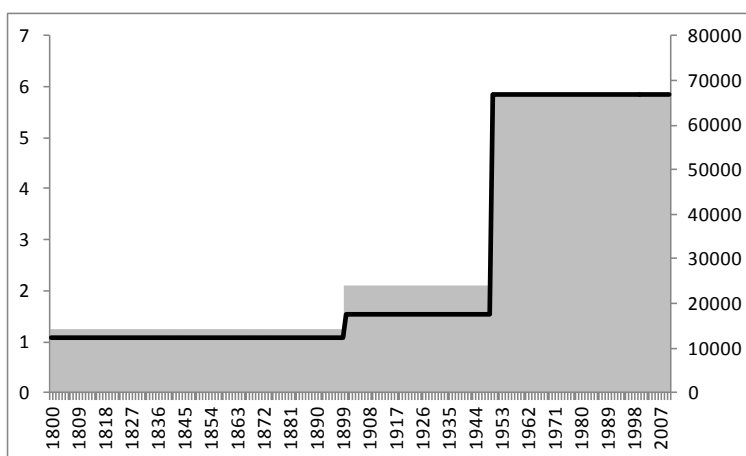


Figura R.4. Rumania. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

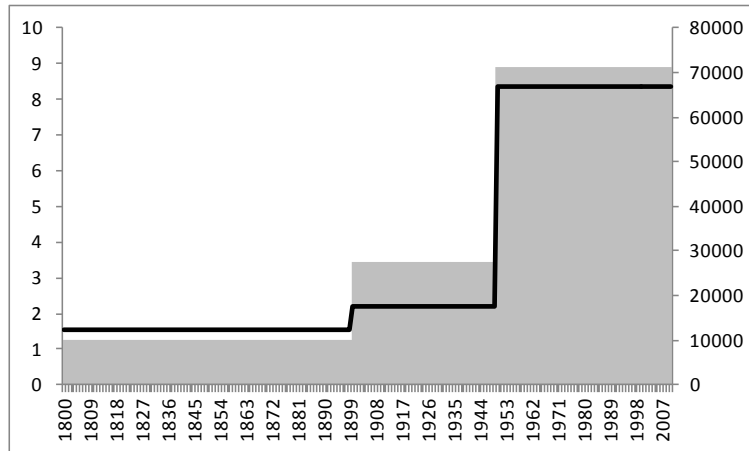


Figura R.5. Rumania. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990) y tasas medias de sedimentación de puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

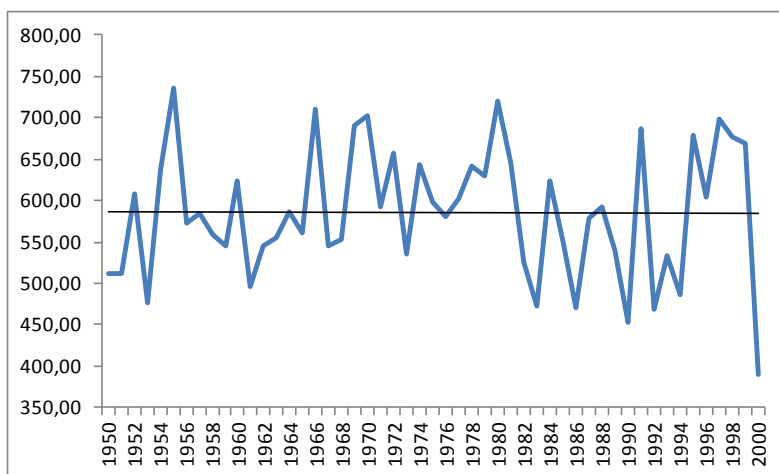


Figura R.5 a. Rumania. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

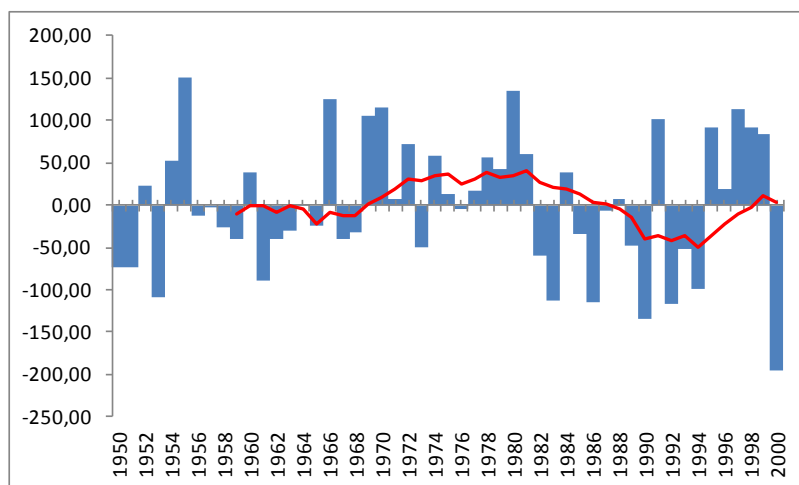


Figura R.5 b. Rumania. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

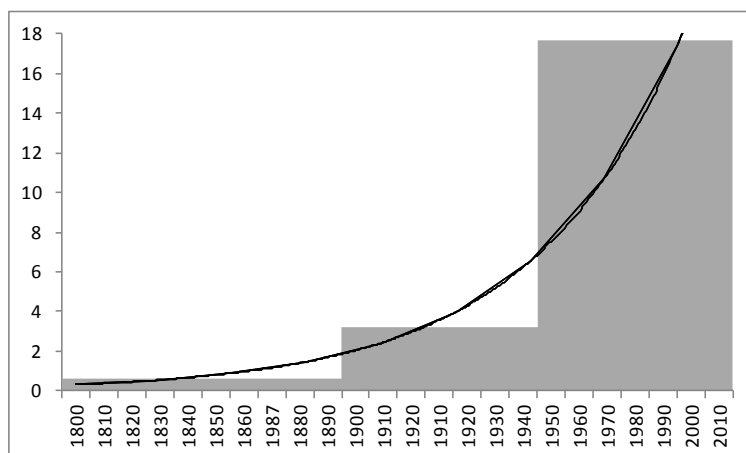


Figura D.1. Alemania, Polonia, Eslovaquia y República Checa. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 5,04; CC-DD: 5,50; AA-DD: 27,70

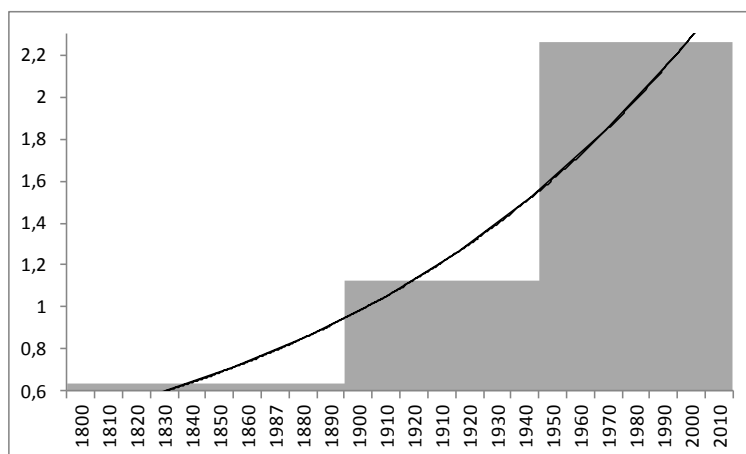


Figura D.2. Alemania, Polonia, Eslovaquia y República Checa. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,76; CC-DD: 2,01; AA-DD: 3,55

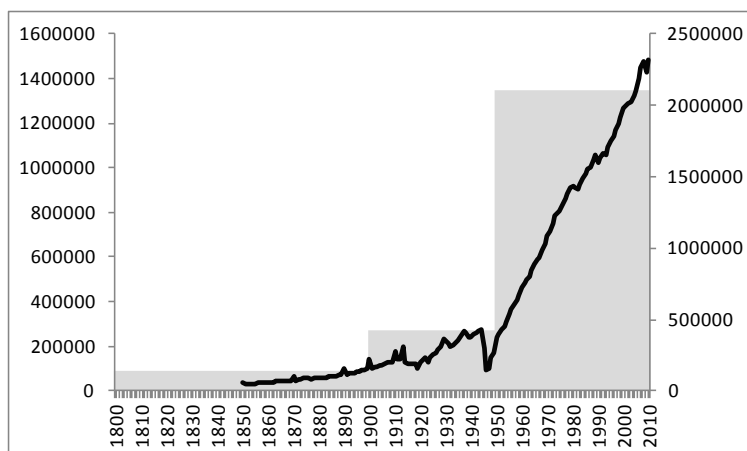


Figura D.3. Alemania, Polonia, Eslovaquia y República Checa. Evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 3,04; CC-DD: 5,03; AA-DD: 15,28.

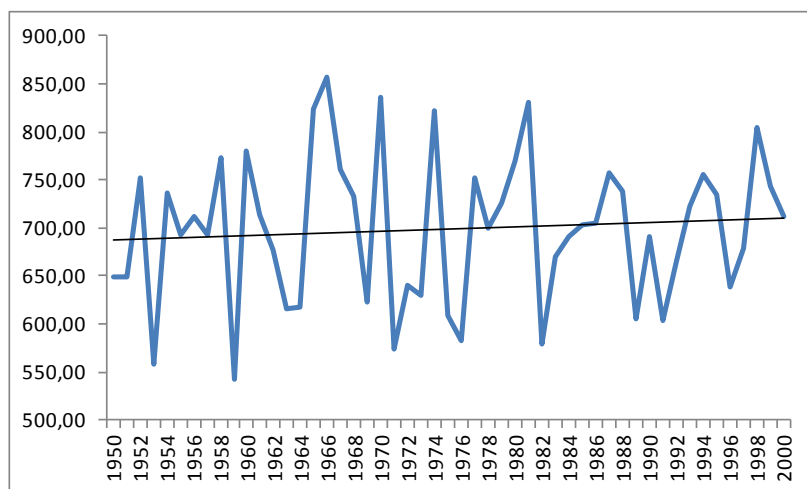


Figura Eu.4 a. Alemania. Polonia, Eslovaquia, República Checa. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

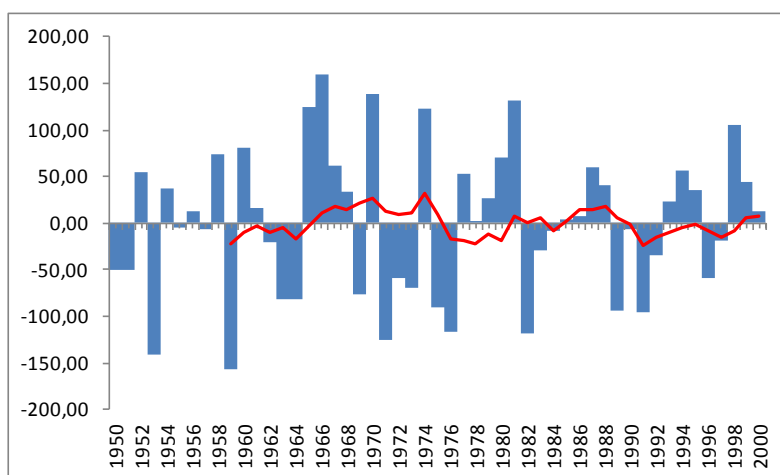


Figura Eu.4 b. Alemania. Polonia, Eslovaquia, República Checa. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

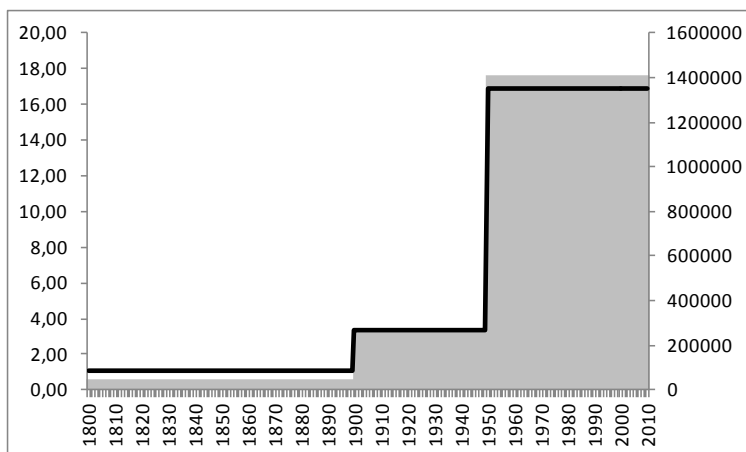


Figura D.4. Alemania, Polonia, Eslovaquia y República Checa. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB.

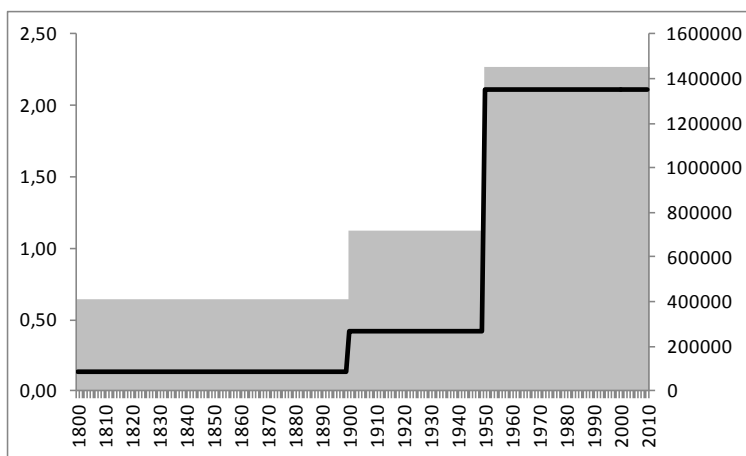


Figura D.5. Alemania, Polonia, Eslovaquia y República Checa. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.a y República Checa. Evolución del PIB.

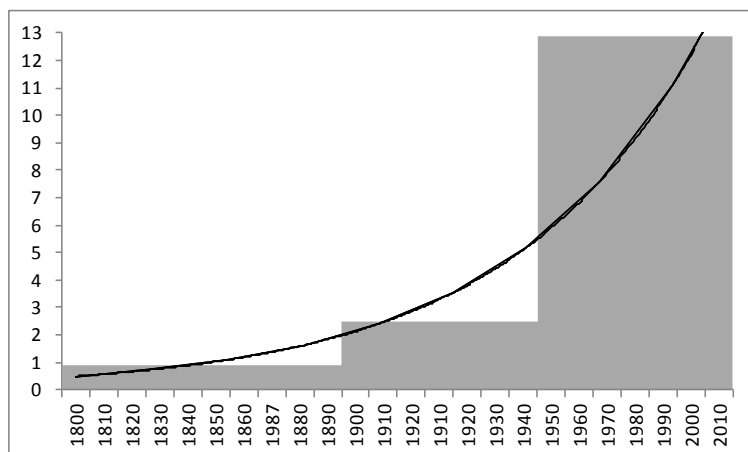


Figura RA.1. Región de los Alpes. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,70; CC-DD: 5,17; AA-DD: 13,99

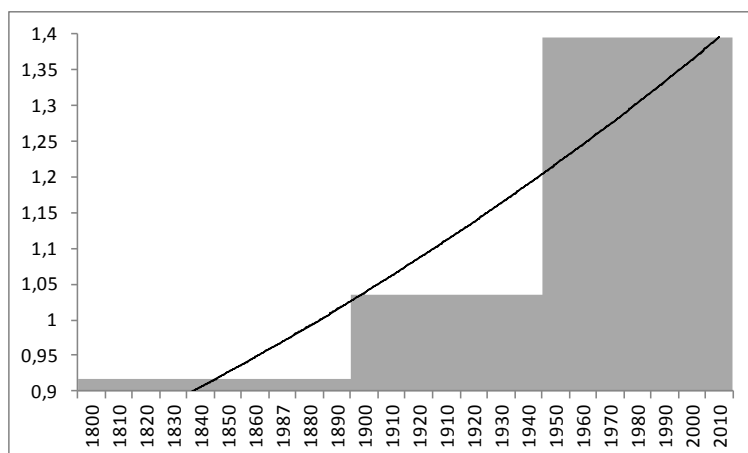


Figura RA.2. Región de los Alpes. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,13; CC-DD: 1,35; AA-DD: 1,52

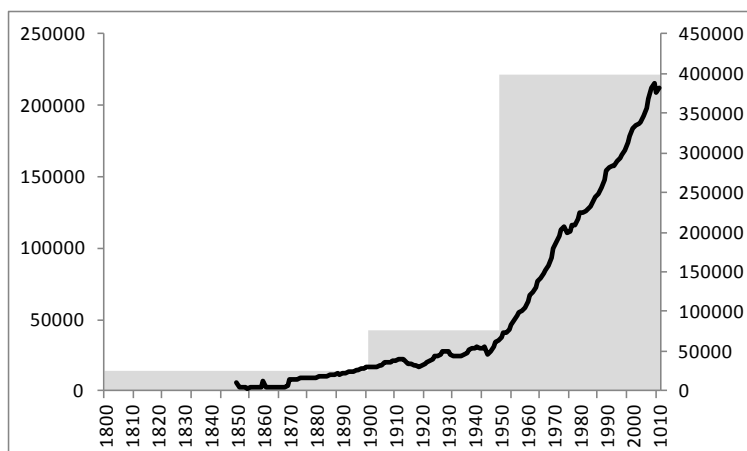


Figura RA.3. Región de los Alpes. Evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos y promedio de cada uno de los lapsos temporales. Factores de aumento: AA-CC: 3,05; CC-DD: 5,18; AA-DD: 15,80

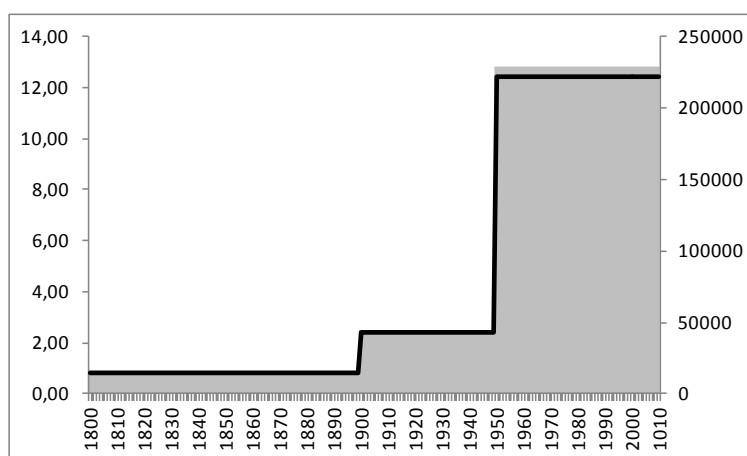


Figura RA.4. Región de los Alpes. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB.

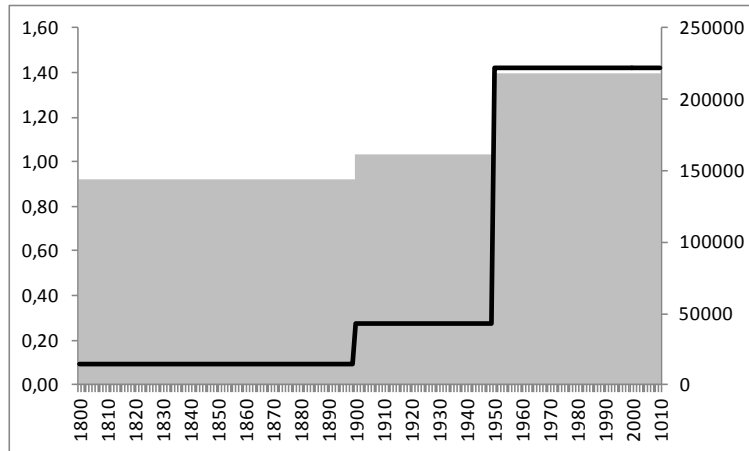


Figura RA.5. Región de los Alpes. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990) y tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

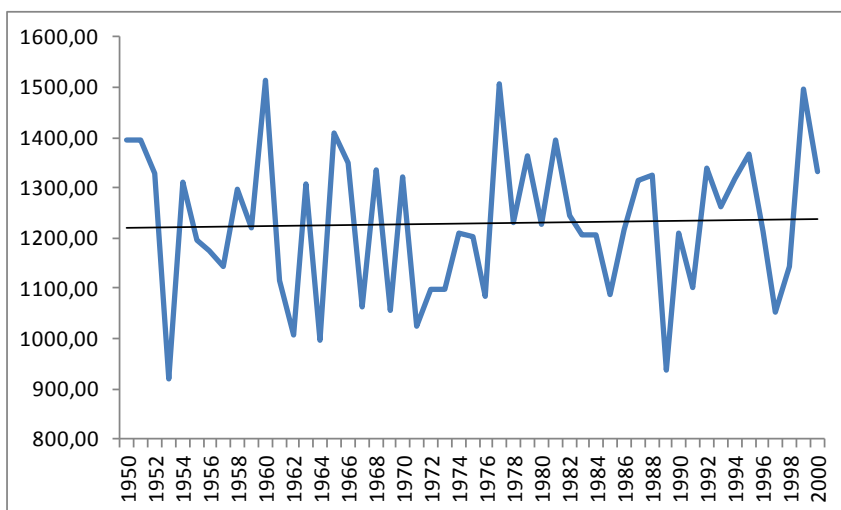


Figura RA.7a. Región de los Alpes. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

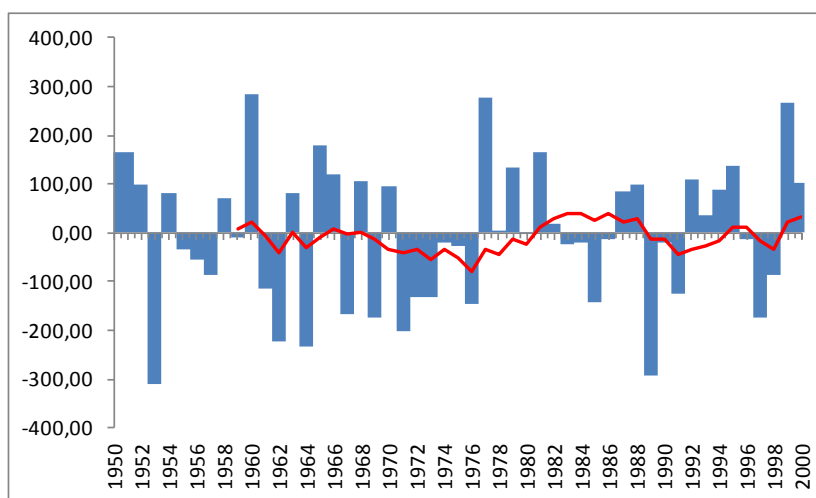


Figura RA.7b. Región de los Alpes. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

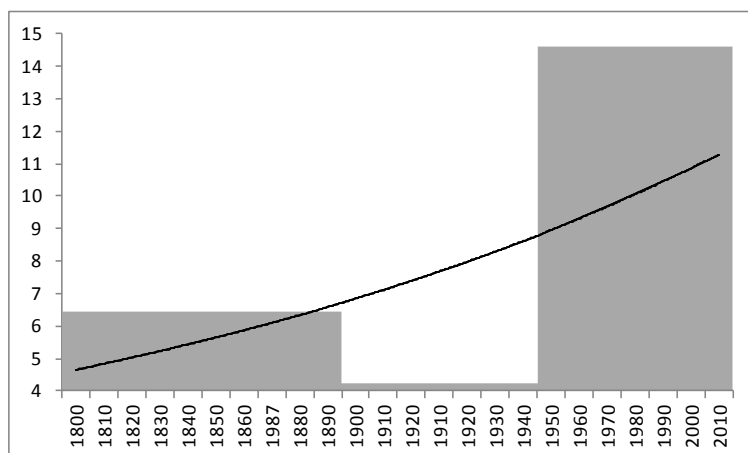


Figura F.1. Francia, Bélgica, Luxemburgo, Holanda. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: -0.66 ; CC-DD: 3.45 ; AA-DD: 2.27

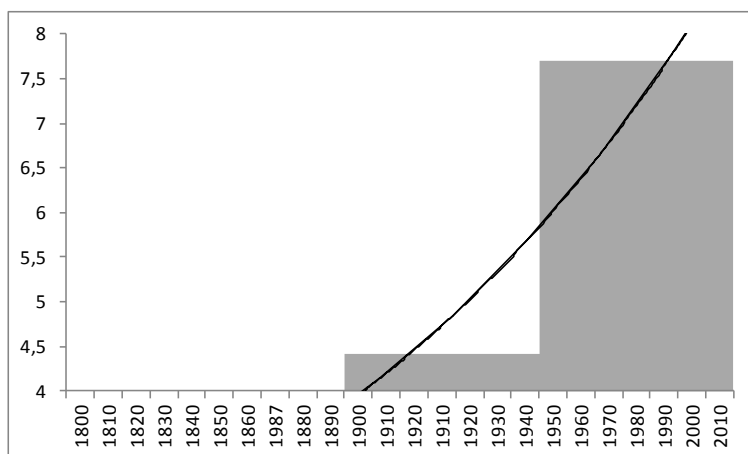


Figura F.2. Francia, Bélgica, Luxemburgo, Holanda. Tasas medias de sedimentación suprimiendo el valor del período AA (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 1.74

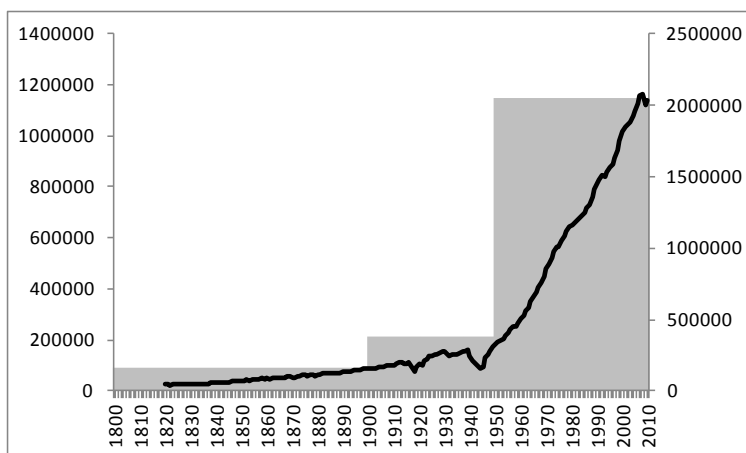


Figura F.3. Francia, Bélgica, Luxemburgo, Holanda. Evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 2,44; CC-DD: 5,34; AA-DD: 13,04.

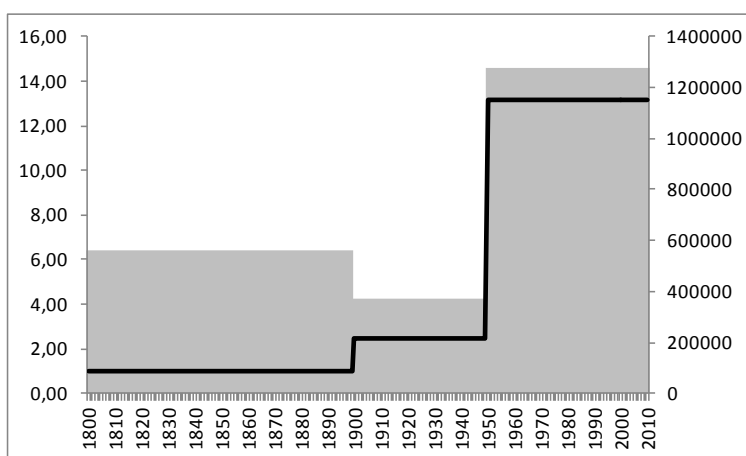


Figura F.4. Francia, Bélgica, Luxemburgo, Holanda. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB.

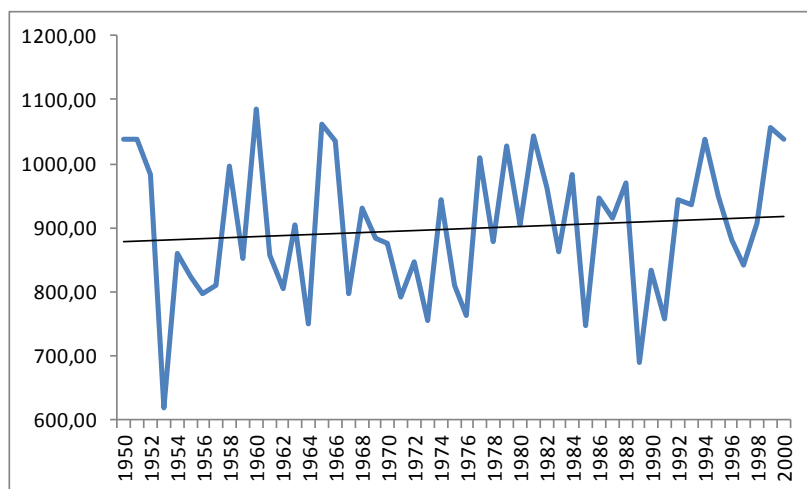


Figura F.9 a. Francia, Luxemburgo, Bélgica, Holanda. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

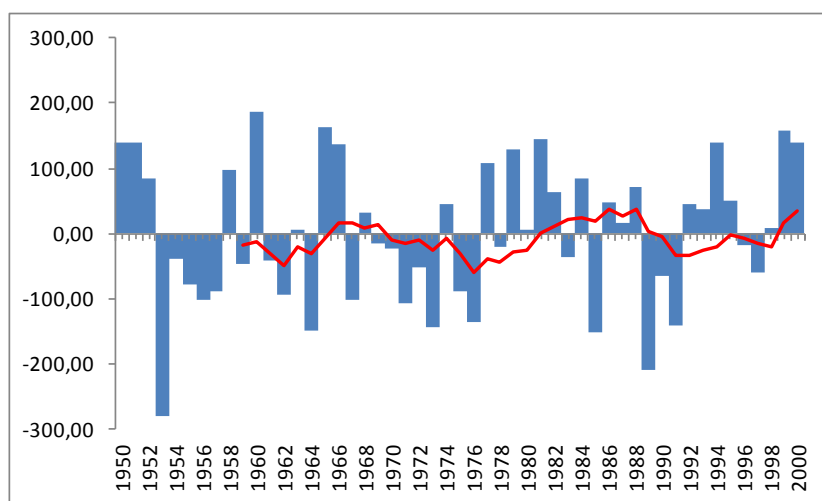


Figura F.9 b. Francia, Luxemburgo, Bélgica, Holanda. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

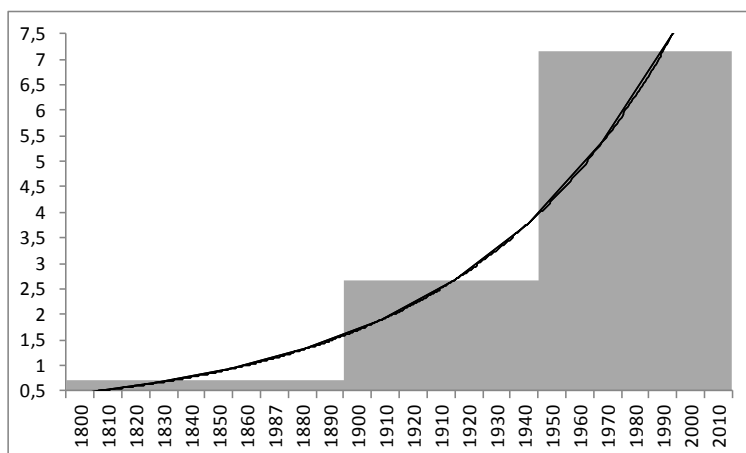


Figura PE.1. Península Escandinava. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,74; CC-DD: 2,67; AA-DD: 9,98.

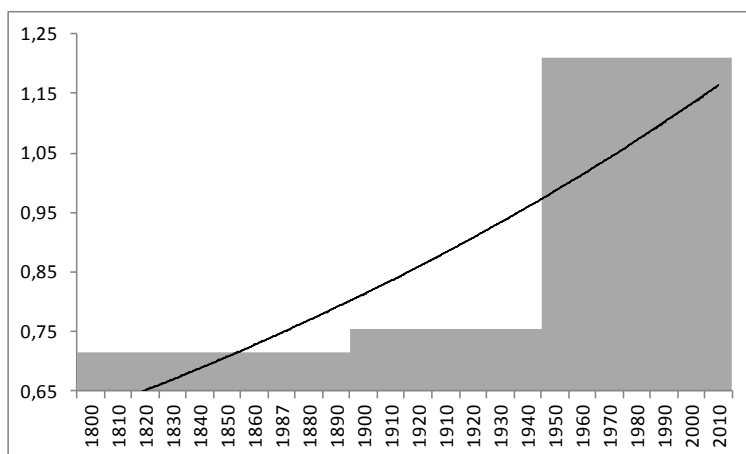


Figura PE.2. Península Escandinava. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,05; CC-DD: 1,60; AA-DD: 1,69.

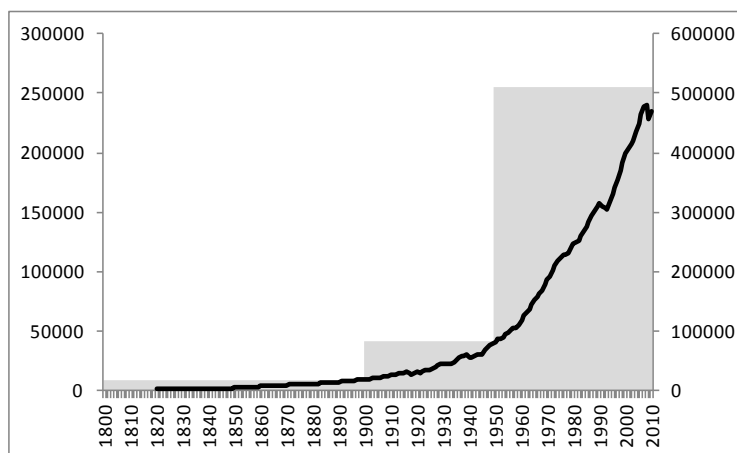


Figura PE.3. Península Escandinava. Evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 4,92; CC-DD: 6,16; AA-DD: 30,27

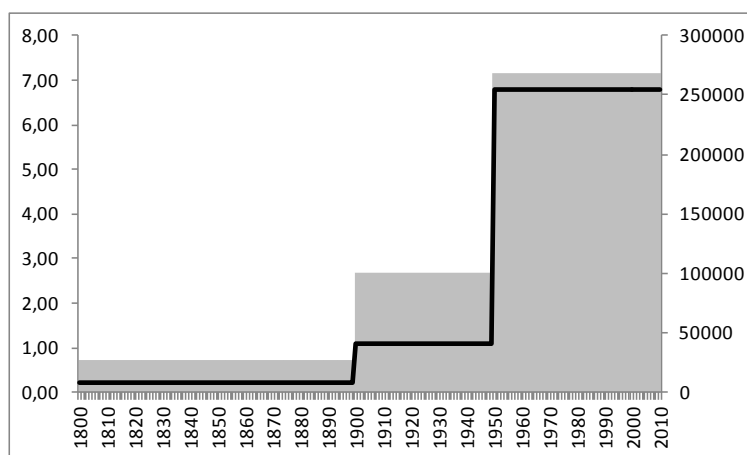


Figura PE.4. Península Escandinava. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB.

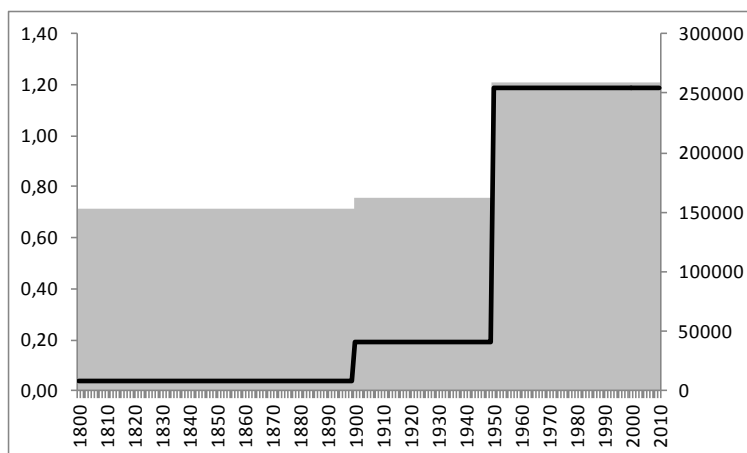


Figura PE.5. Península Escandinava. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

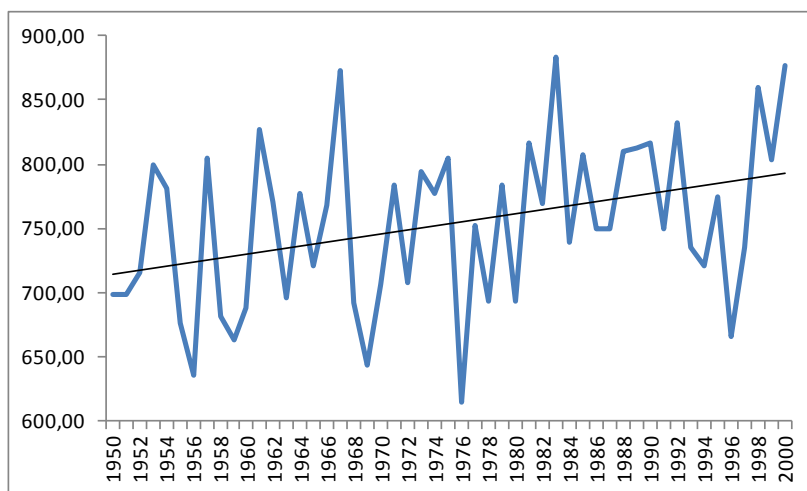


Figura PE.6 a. Península Escandinava. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

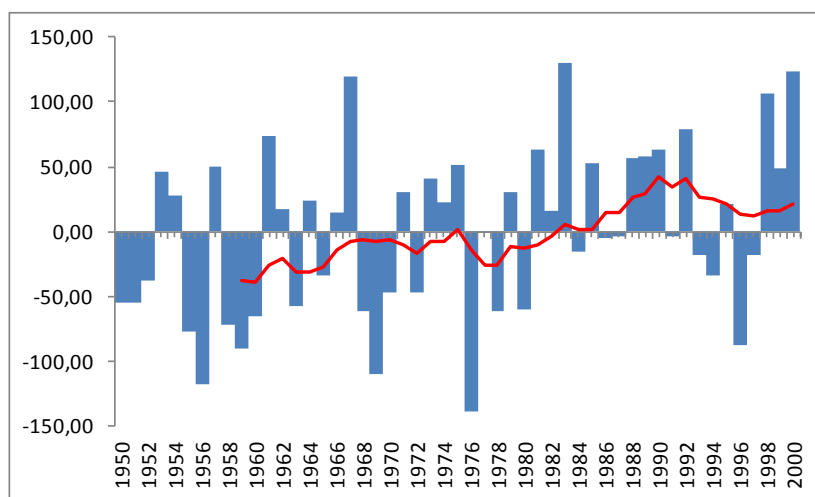


Figura PE.6 b. Península Escandinava. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

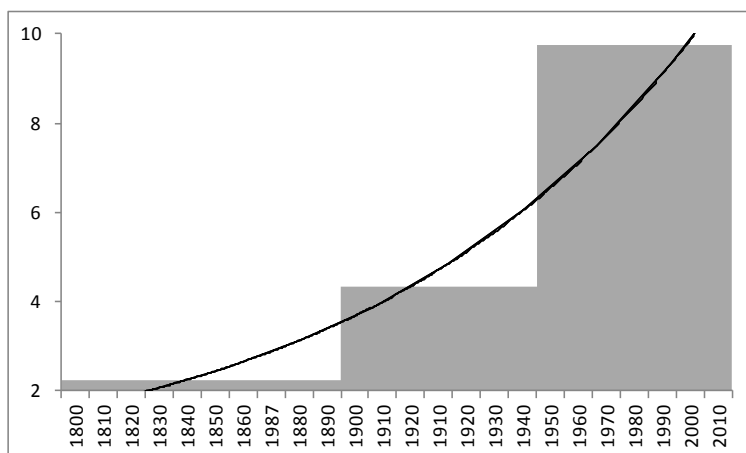


Figura IB.1. Islas Británicas. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,94; CC-DD: 2,25; AA-DD: 4,36

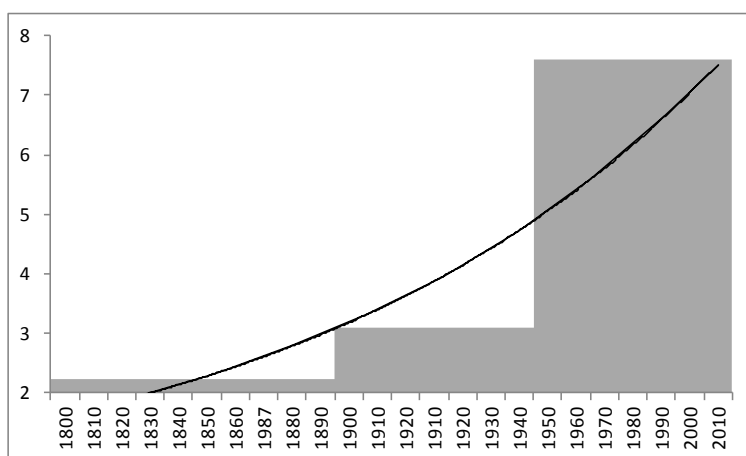


Figura IB.2. Islas Británicas. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,38; CC-DD: 2,46; AA-DD: 3,40

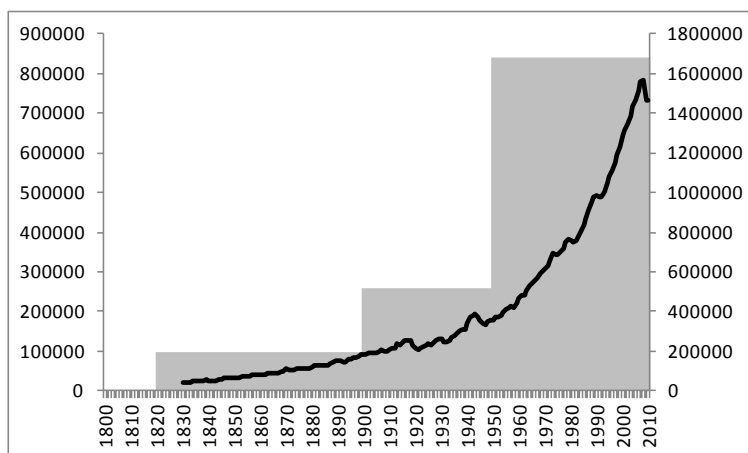


Figura IB.3. Islas Británicas. Evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 2,71; CC-DD: 3,22; AA-DD: 8,72

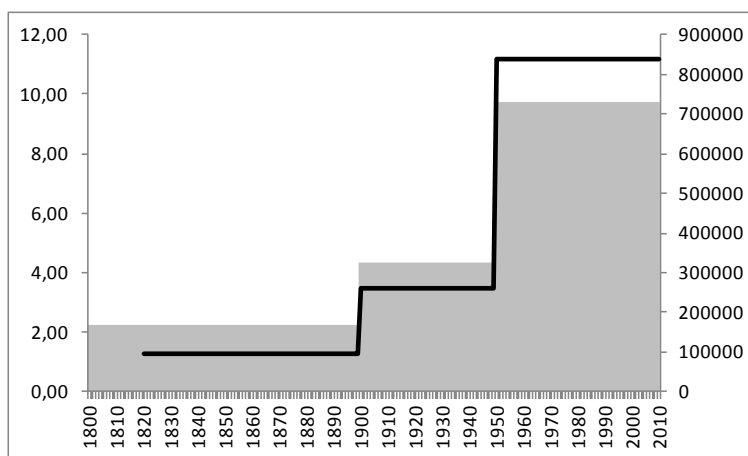


Figura IB.4. Islas Británicas. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB.

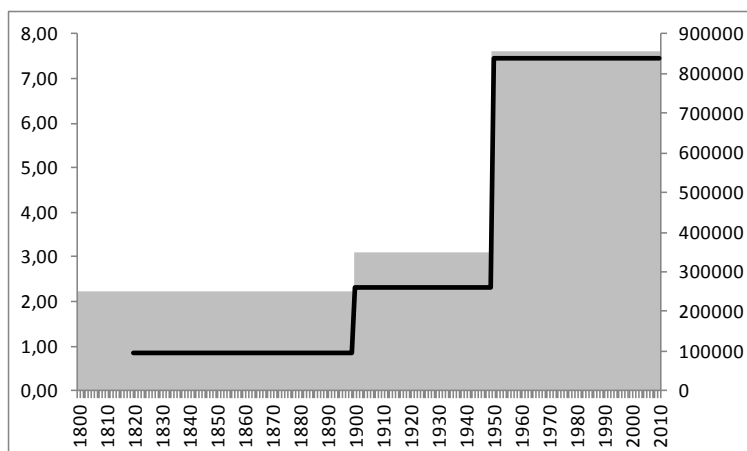


Figura IB.5. Islas Británicas. Comparación de la evolución del PIB(10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

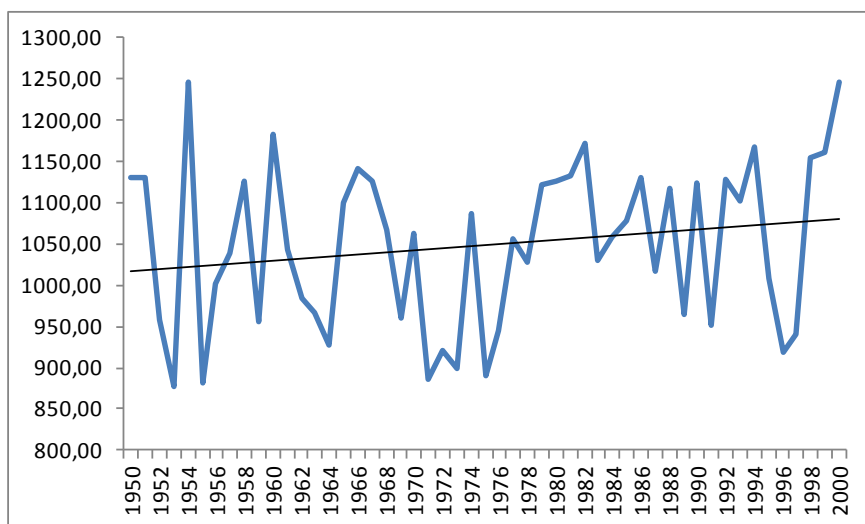


Figura IB.6 a. Islas Británicas. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

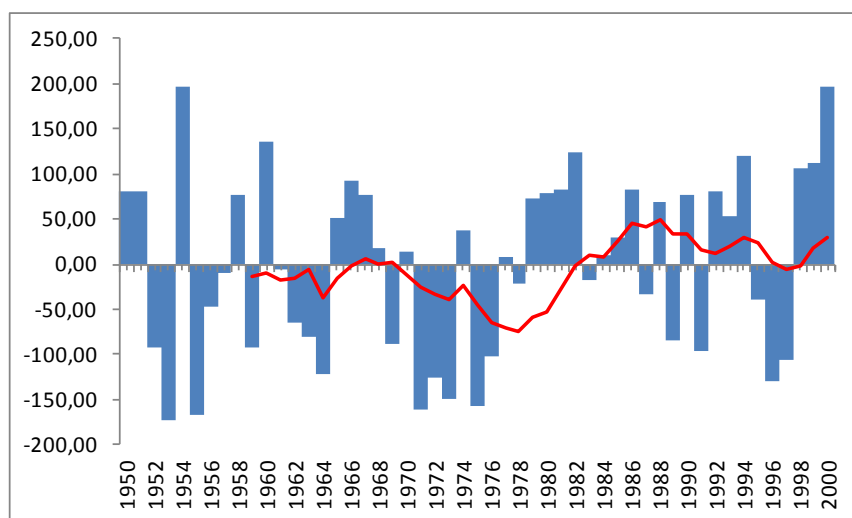


Figura IB.6 b. Islas Británicas. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

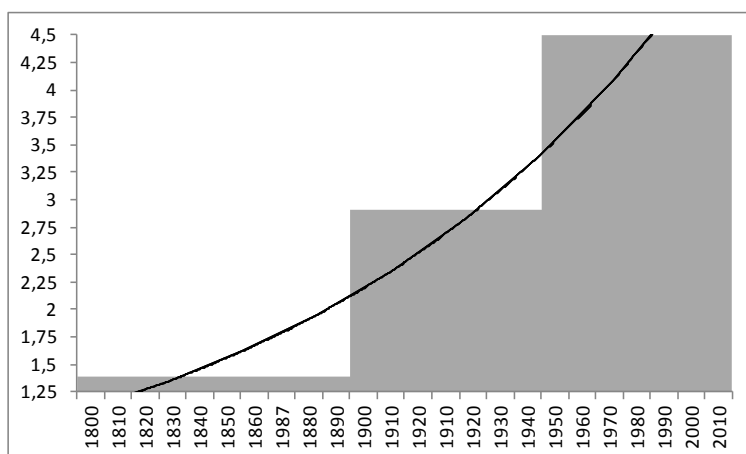


Figura PI.1. Península Ibérica. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,10; CC-DD: 1,56; AA-DD: 3,28.

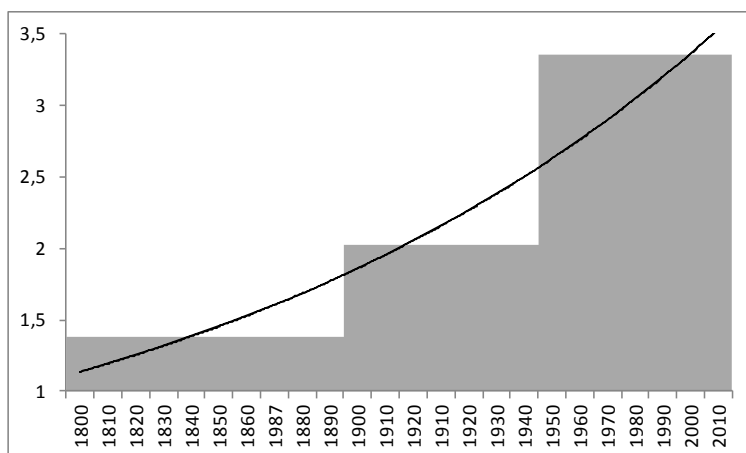


Figura PI.2. Península Ibérica. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,41; CC-DD: 1,70; AA-DD: 2,39.

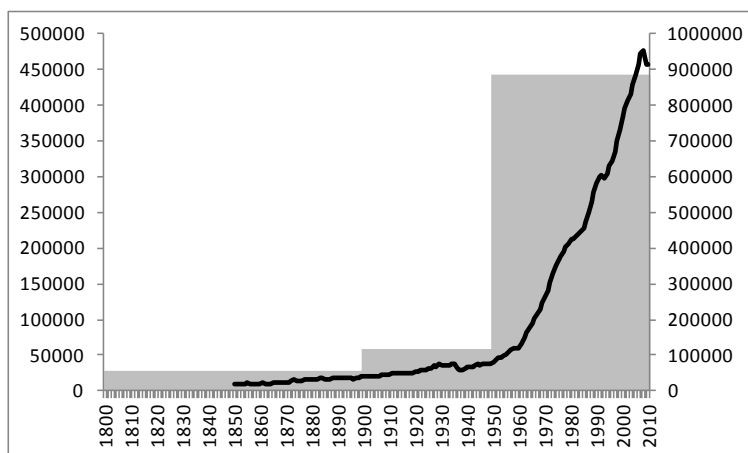


Figura PI.3. Península Ibérica. Evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 2,11; CC-DD: 7,45; AA-DD: 15,71.

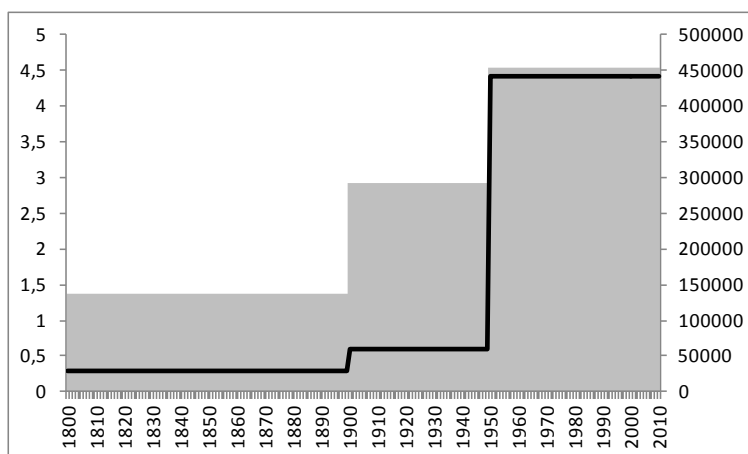


Figura PI.4. Península Ibérica. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB.

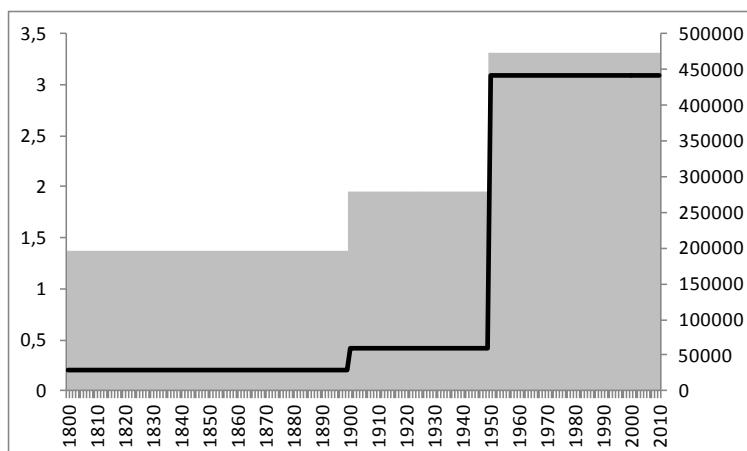


Figura PI.5. Península Ibérica. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

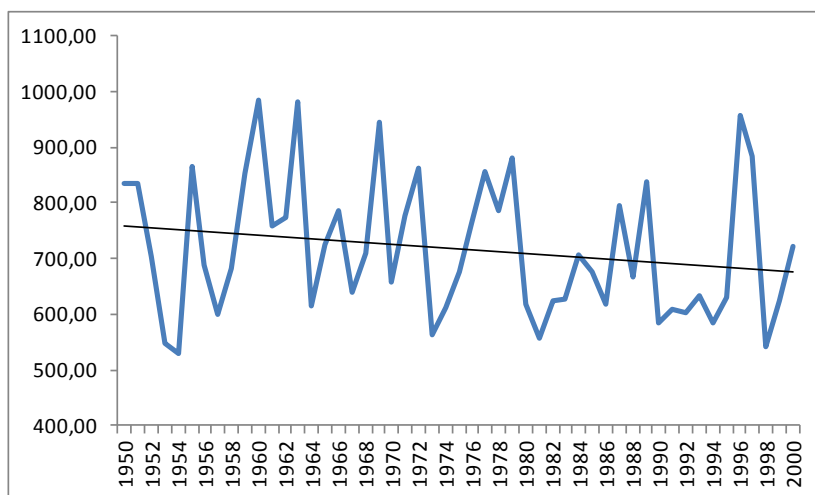


Figura PI.8 a. Península Ibérica. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

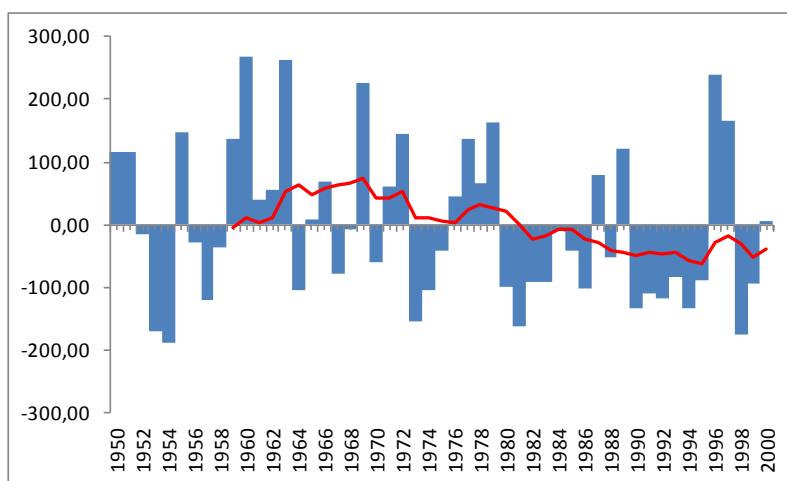


Figura PI.8 b. Península Ibérica. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

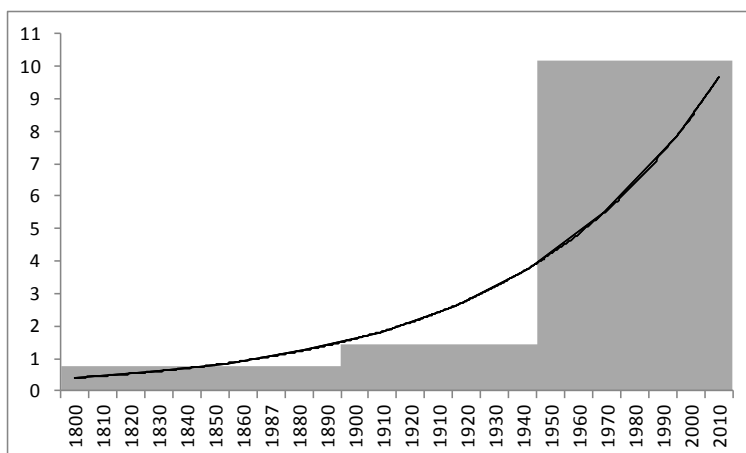


Figura I.1. Italia. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 1,83; CC-DD: 7,12; AA-DD: 13,06

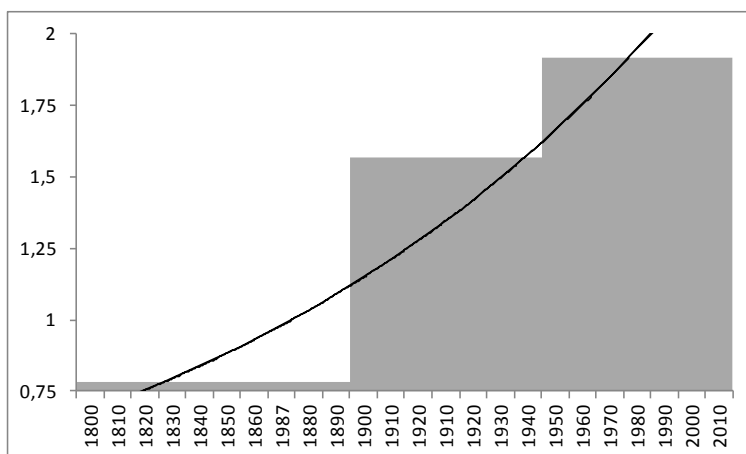


Figura I.2. Italia. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 2,01; CC-DD: 1,22; AA-DD: 2,46

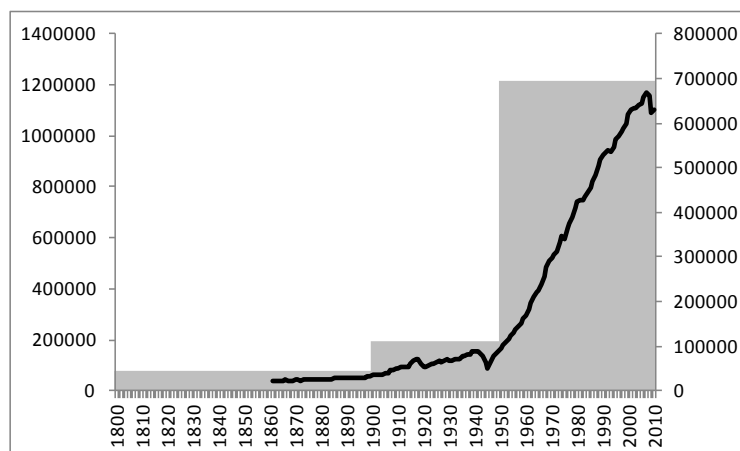


Figura I.3. Italia. Evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 2,43; CC-DD: 6,26; AA-DD: 15,21

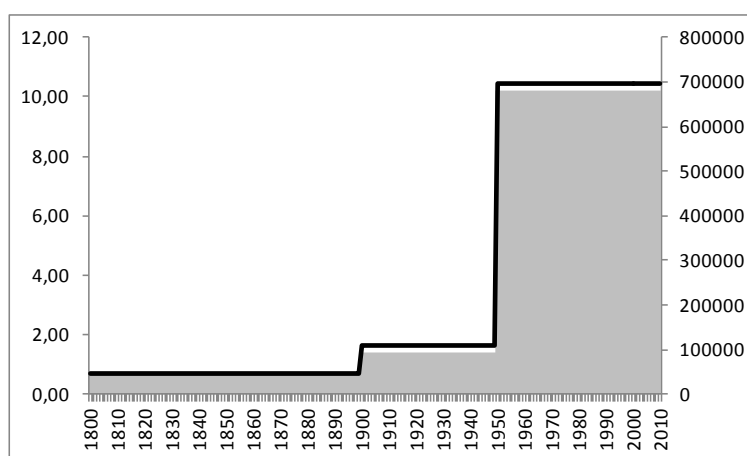


Figura I.4. Italia. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

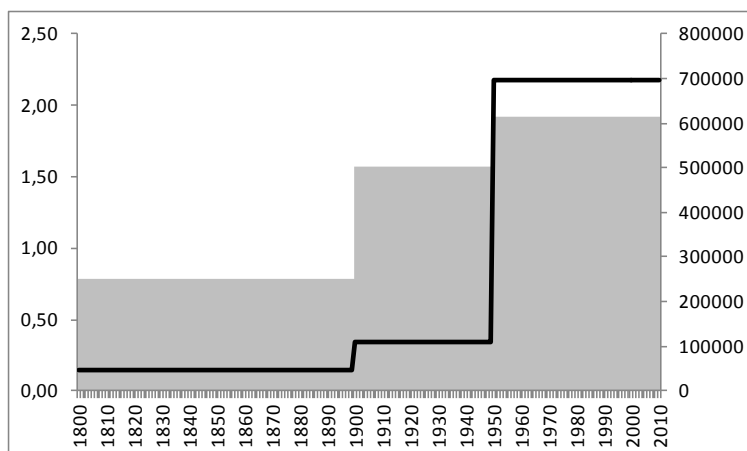


Figura I.5. Italia. Comparación de la evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año, izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

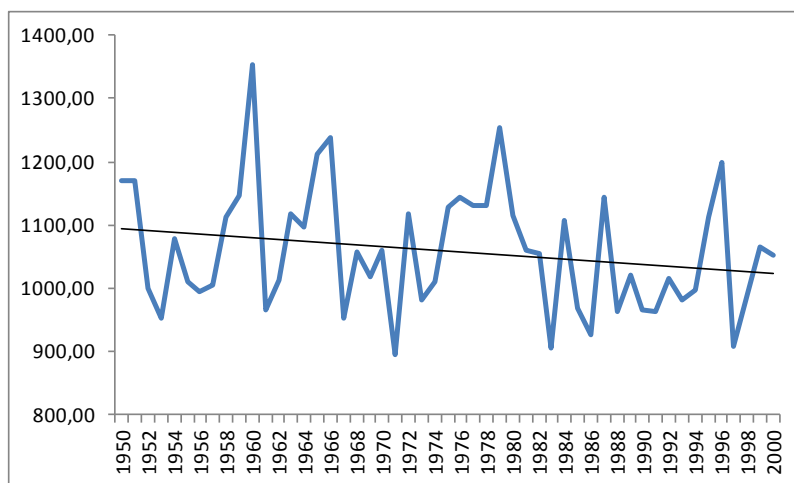


Figura I.6 a. Italia. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

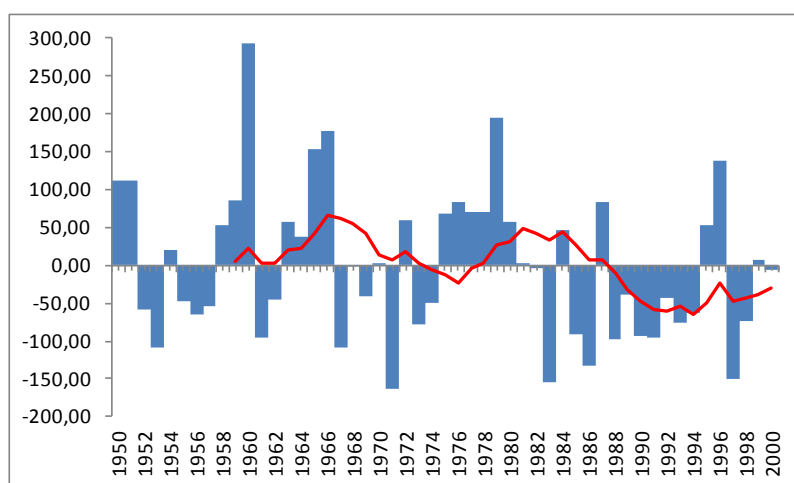


Figura I.6 b. Italia. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

3.2.5. Norte de España.

Dentro de Europa, se considera de manera específica el caso del N de España. Esto es así porque en esa zona se han realizado numerosos sondeos y determinaciones de las tasas de sedimentación (Irabien et al., 1999, 2008 a, b; Soto et al., 2003, 2006, 2007; Gelen et al., 2004; Viguri et al., 2007; Cearreta et al., 2008; Monge et al., 2008, 2012; Prego et al., 2008; Bruschi et al., 2012, 2013 a, b) parte de ellos por parte del equipo de investigación al que pertenece este autor, pero no con su participación directa. Se tiene por ello un importante número de datos con buena resolución temporal. Se resumen a continuación los resultados obtenidos y se presenta una interpretación de los mismos, dentro del marco del modelo que se intenta comprobar. Dado que los datos obtenidos para esta región incluyen dataciones que cubren de manera continua desde el tránsito entre los siglos XIX/XX, se ha podido hacer el análisis sin utilizar los tres grandes periodos que se han considerado en los casos anteriores.

Los sondeos sobre los cuales se ha obtenido información relativa a tasas se sitúan en el País Vasco, Cantabria y Galicia. Su ubicación se muestra en la figura NE.1. Los resultados relativos a las tasas de sedimentación se muestran en las figuras NE.2-8. Según se desprende del análisis de dichos resultados, a lo largo del último siglo se ha producido en esta zona del N de España un aumento prácticamente generalizado de las tasas de sedimentación, si bien hay algunas excepciones. De un total de 14 sondeos, solamente 3 no muestran aumentos de dichas tasas (uno en Vigo, otro en Suances, y otro en Urdaibai), y ninguno muestra disminución. Los autores correspondientes presentan interpretaciones de las tasas “anómalas” en los tres primeros lugares. En el caso de Vigo (donde hay otro sondeo que muestra un marcado aumento de las tasas), Bruschi et al. (2013 a) señalan, basándose en datos complementarios sobre metales pesados y sobre las actividades humanas en la zona, que las tasas promedio en ese punto podrían haber pasado de 0,15 mm/año antes de 1965 a 0,4 mm/año con posterioridad, pero indican que eso debería ser confirmado. En Suances, la tasa es uniforme a lo largo del tiempo, pero mucho más alta que en todos los demás lugares. La más probable explicación de esto es la muy alta y bastante constante influencia humana en la cuenca del río que desemboca en el estuario, que es relativamente pequeña, y que desde finales del siglo XIX se ha visto sometida a intensa actividad minera y de expansión urbana, así como a instalación de industrias cuyos vertidos contribuyen a la floculación de partículas finas

(Nogués, 1987; Arce, 1988; Rivas et al., 2006; Irabien et al., 2008; Bruschi et al., 2013 a). En Urdaibai hay dos sondeos, uno que muestra estabilidad y otro en el que hay dos periodos diferenciados, con aumento moderado de las tasas a partir de mitad de los años 60 (Soto et al., 2003). La cuenca de este estuario, incluido en una Reserva de la Biosfera de UNESCO, es una de las menos afectadas por actividades humanas en todo el País Vasco (si bien los datos geoquímicos ponen de manifiesto una moderada influencia humana; Irabien y Velasco, 1999), por lo que no es sorprendente que las tasas de generación de sedimento y la sedimentación asociada no hayan variado de forma significativa. Sí que se ha habido alguna actividad de construcción y dragado de canales en algunas partes del estuario (Monge et al., 2008, 2012), aunque no parece que hayan afectado a los puntos de muestreo.

En los demás sondeos, las tasas de sedimentación durante aproximadamente un siglo han aumentado por un factor entre 1,5 y 10 (Bruschi et al., 2013 a).

Resulta interesante la comparación entre los datos relativos a las tasas de sedimentación y los correspondientes a los potenciales impulsores de los procesos geomorfológicos. Bruschi et al. (2013 a) presentan datos relativos a las precipitaciones, así como indicadores de la importancia de las actividades humanas que pueden causar perturbación de la superficie terrestre y, en consecuencia, la intensificación de los procesos de erosión/sedimentación (Figs. NE.2-8). Las precipitaciones muestran en general una tendencia a la disminución a partir de aproximadamente 1970, coincidiendo con el momento de mayor incremento de las tasas de sedimentación. La única excepción es la zona de Vigo (Fig. NE.2), donde las lluvias no han experimentado una variación significativa. En este caso, tampoco indicadores tales como población y construcción de nuevas viviendas en las pequeñas cuencas que desaguan en los puntos de muestreo, muestran mucha variación. En el caso de La Rabia (Fig. NE.3), si bien disminuyó la población, aumentó la construcción de viviendas (en gran parte segundas residencias), lo que posiblemente es más importante. El factor de aumento, desde mitad de siglo, es aproximadamente 3, tanto en el número de viviendas como en las tasas de sedimentación. En la cuenca correspondiente a Suances (Fig. NE.4) aumentaron tanto la construcción de viviendas como la población, pero eso no se refleja en la sedimentación tal como se ha comentado más arriba. En la bahía de Santander (Fig. NE.5), tanto la población como la construcción de nuevas viviendas experimentaron desde mitad del pasado siglo aumentos por un factor 2,5-3, aunque con tendencias diferentes. Nuevamente, ese valor se

aproxima bastante al promedio del aumento de las tasas de sedimentación. Algo parecido ocurre en Santoña (Fig. NE.6), donde los factores de aumento de nuevas viviendas y tasas de sedimentación son muy similares, alrededor de 3, aunque (de manera similar a La Rabia) la población presenta poca variación. En Muskiz (Fig. NE.7) vuelve a presentarse una disminución de la población, pero un aumento significativo de las nuevas viviendas, por un factor de aproximadamente 3 desde mitad de siglo, que se compara con un factor 4 para el aumento de la tasa de sedimentación en el mismo periodo. Por último, en Urdaibai, donde las tasas de sedimentación muestran una estabilidad general, con un periodo de sedimentación más intensa en uno de los sondeos a partir de aproximadamente 1960, se aprecia claramente que tanto población como construcción de viviendas se intensifican a partir de esa fecha (Fig. NE.8).

Naturalmente, hay distintas variables que intervienen en la generación y acumulación de sedimento, y la influencia de cada una de ellas puede variar mucho de una cuenca a otra, especialmente si se trata de cuencas de reducidas dimensiones, como son las que aquí se analizan. Es aconsejable por tanto tratar de realizar comparaciones para territorios más amplios, pues al aumentar la extensión considerada disminuye la probabilidad de que variables que pueden tener una importancia local afecten al conjunto. Esto es, aumenta la probabilidad de que se pongan mejor de manifiesto las variables más significativas en conjunto. Esa comparación puede realizarse con los datos sobre impulsores, naturales y humanos (Fig. NE.9), presentados por Bruschi et al. (2013 a). En la figura se observa claramente la tendencia a la disminución de las lluvias (totales anuales y episodios de lluvias intensas) desde aproximadamente 1970, lo cual se corresponde, lógicamente, con una disminución de los caudales de los ríos. En el mismo periodo, los indicadores de PIB (nacional y por comunidades) o de consumo de cemento (nacional; no hay datos por comunidades, pero, como ocurre con el PIB, es más que probable que las tendencias generales no sean muy diferentes), experimentaron aumentos por un factor 3-4, muy similar al promedio del aumento en las tasas de sedimentación.

Tal como se ha comentado al presentar el modelo conceptual en el que se basa la hipótesis de trabajo, tanto el PIB como el consumo de cemento son indicadores significativos de la intensidad de las actividades humanas que pueden dar lugar a la perturbación de la superficie terrestre. A la vista de los resultados presentados, es por tanto razonable interpretar que la creciente sedimentación en la región es resultado de una creciente generación de sedimento causada sobre todo por el incremento de dichas

actividades, no por causas climáticas. Esta interpretación presenta indudablemente incertidumbres, pero es la más coherente con los datos disponibles para la región, al igual que ocurre en los casos de la cuenca del Río de la Plata y de la Pampa húmeda.

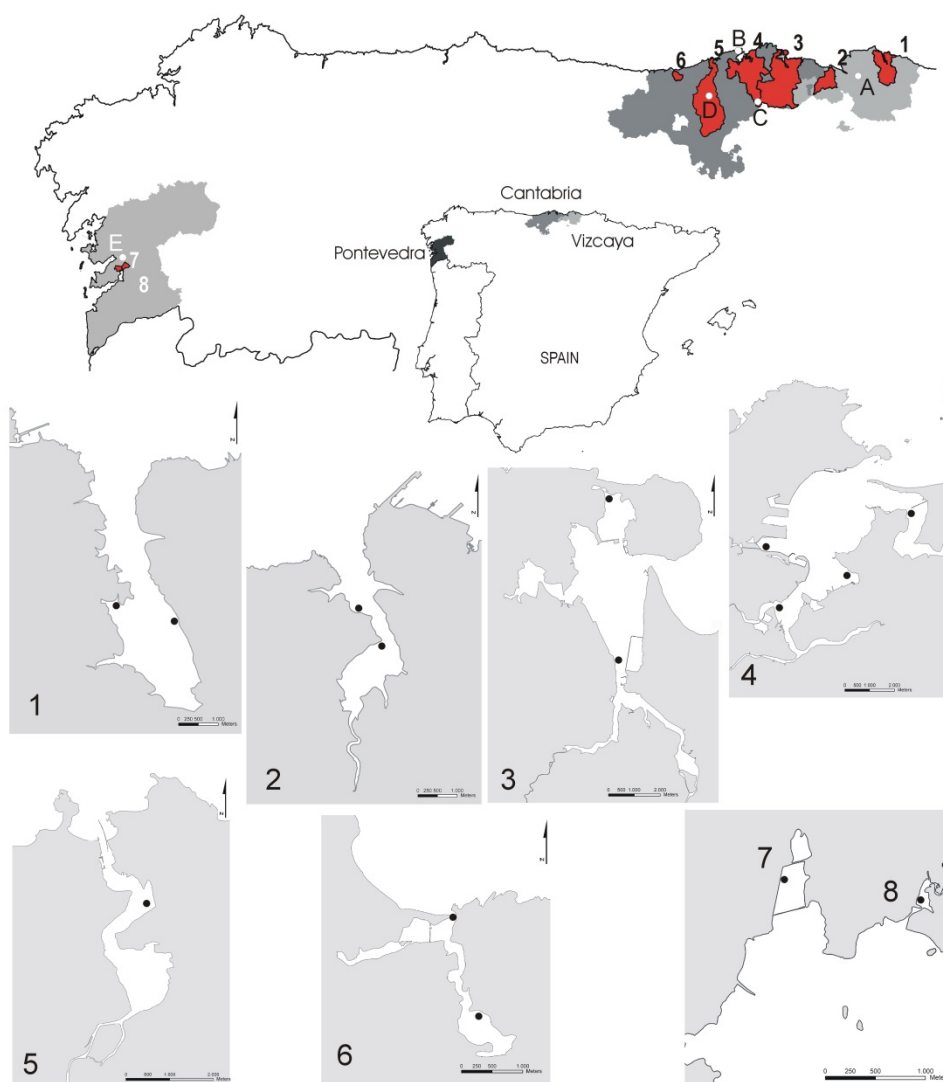


Figura NE.1. Distribución de los lugares en los que se dispone de sondeos datados en el N de España. 1: Ría de Urdaibai. 2: Muskiz. 3: Bahía de Santoña. 4: Bahía de Santander. 5: Estuario de Suances. 6: Ría de La Ría. 7: Ulló, Ría de Vigo. 8: Tuimil-Villil, Ría de Vigo. a-g: puntos de muestreo. Estaciones meteorológicas de las que se han obtenido datos; A: aeropuerto de Bilbao. B: Santander. C: Mirones. D: Molledo. E: Pontevedra (de Bruschi et al., 2013).

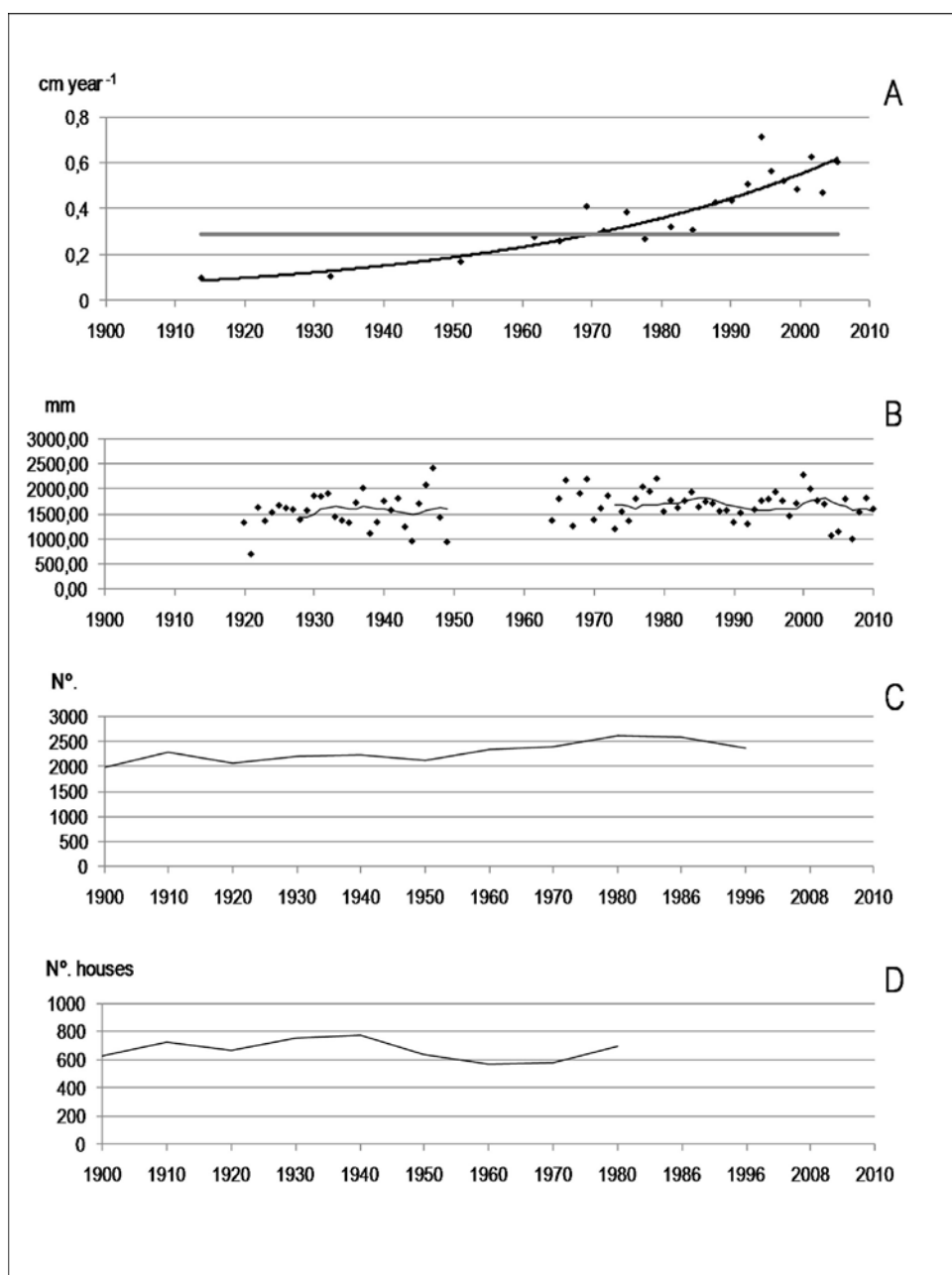


Figura NE.2. Resultados correspondientes a las localidades de Ulló (p) y Tuimil-Villil (q), en la Ría de Vigo. A: tasas de sedimentación. B: precipitaciones en la estación más próxima con registro largo y de calidad (Pontevedra). C: población. D: construcción de nuevas viviendas. Los datos de población y construcción de viviendas corresponden a los municipios de Pontevedra y Vilaboa.

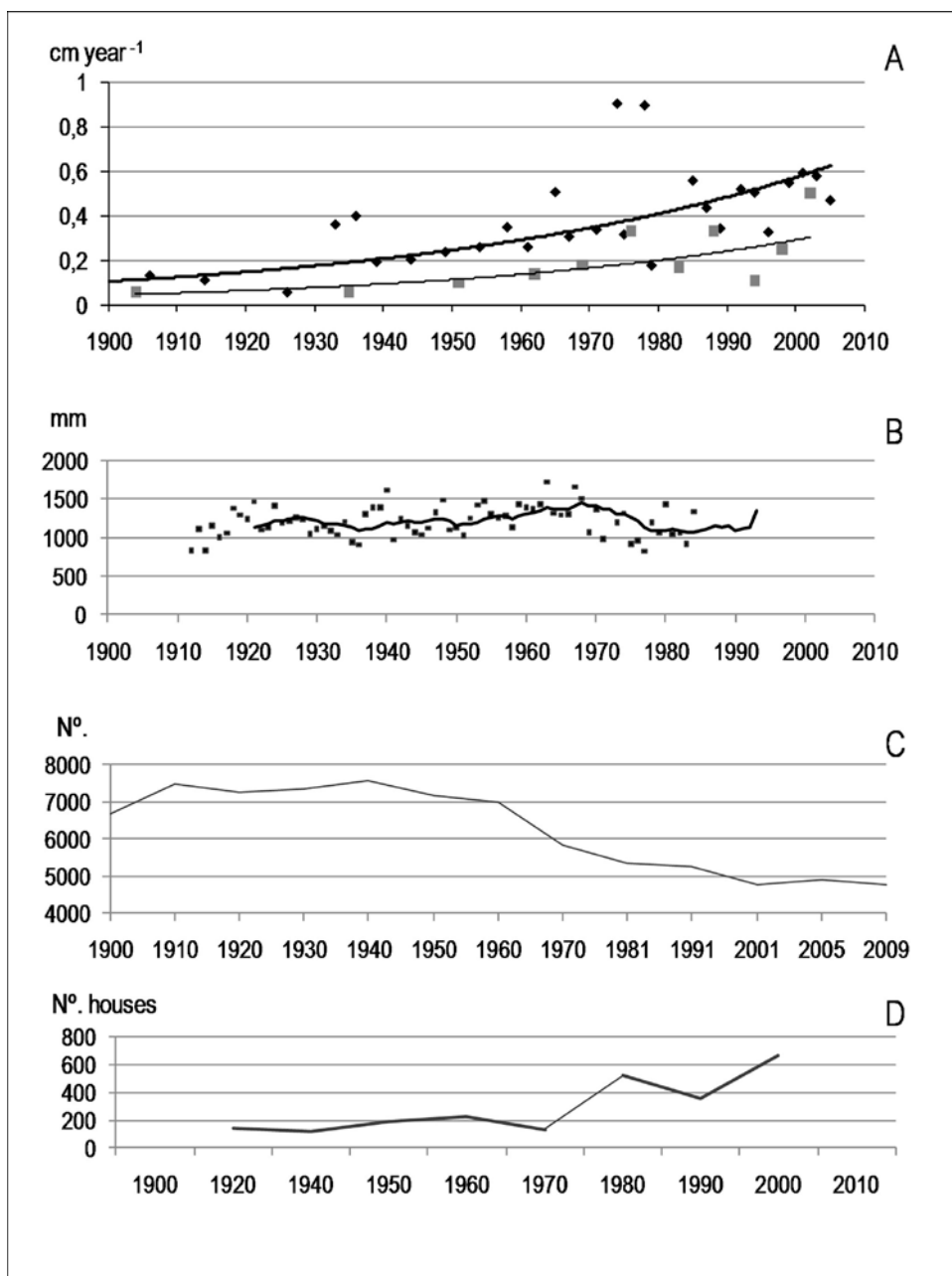


Figura NE.3. Resultados en la Ría de la Rabia. A: tasas de sedimentación. B: precipitaciones en la estación más próxima con registros largos y de calidad (Santander). C: población. D: construcción de nuevas viviendas. Los datos de población y construcción de viviendas corresponden a los municipios de Comillas y Valdáliga (de Bruschi et al., 2013).

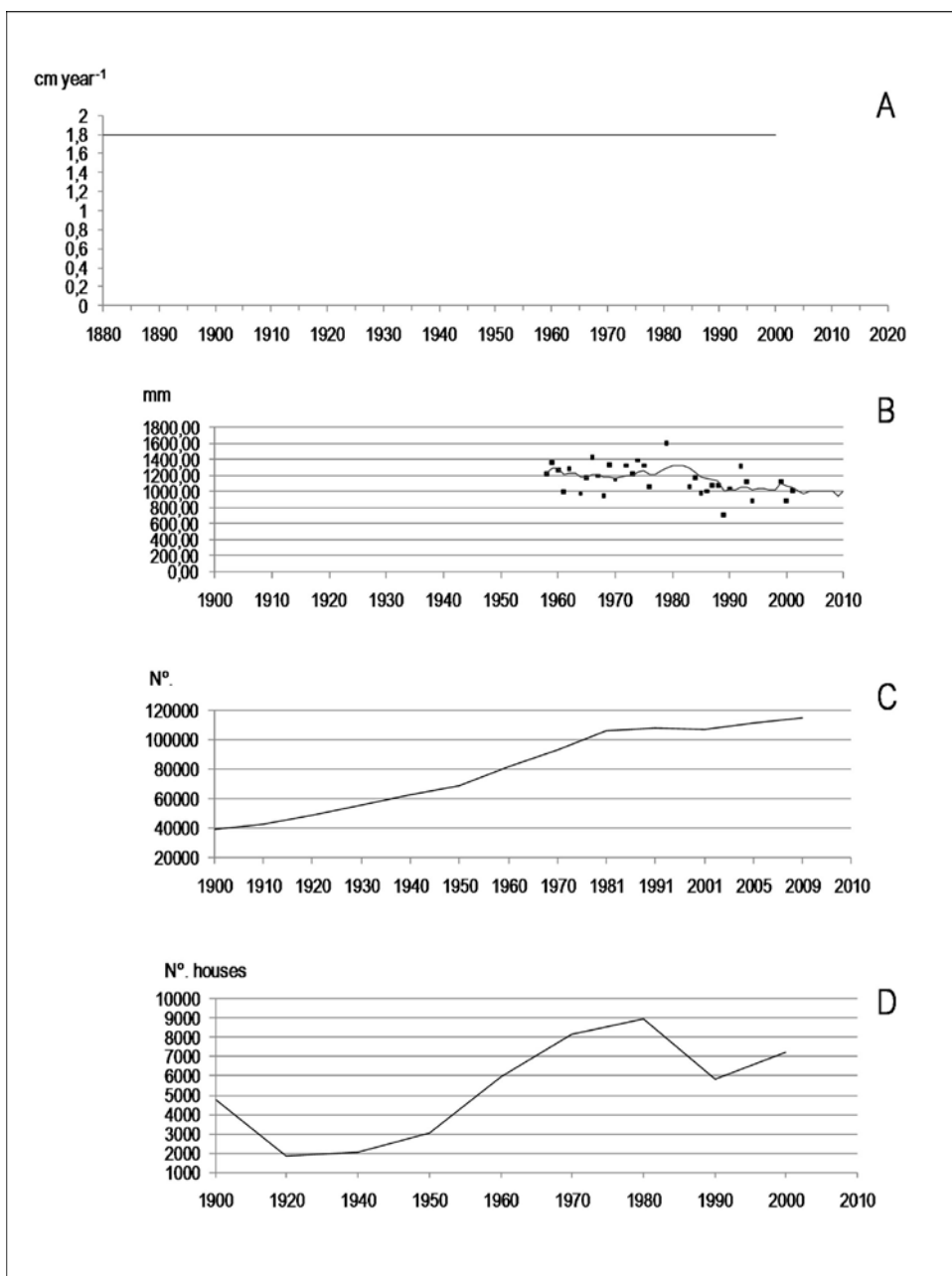


Figura NE.4. Resultados en la Ría de Suances. A: tasas de sedimentación. B: precipitaciones en la estación más próxima con registros largos y de calidad (Molledo). C: población. D: construcción de nuevas viviendas. Los datos de población y construcción de viviendas corresponden a los 20 municipios de la cuenca de los ríos Saja-Besaya (de Bruschi et al., 2013).

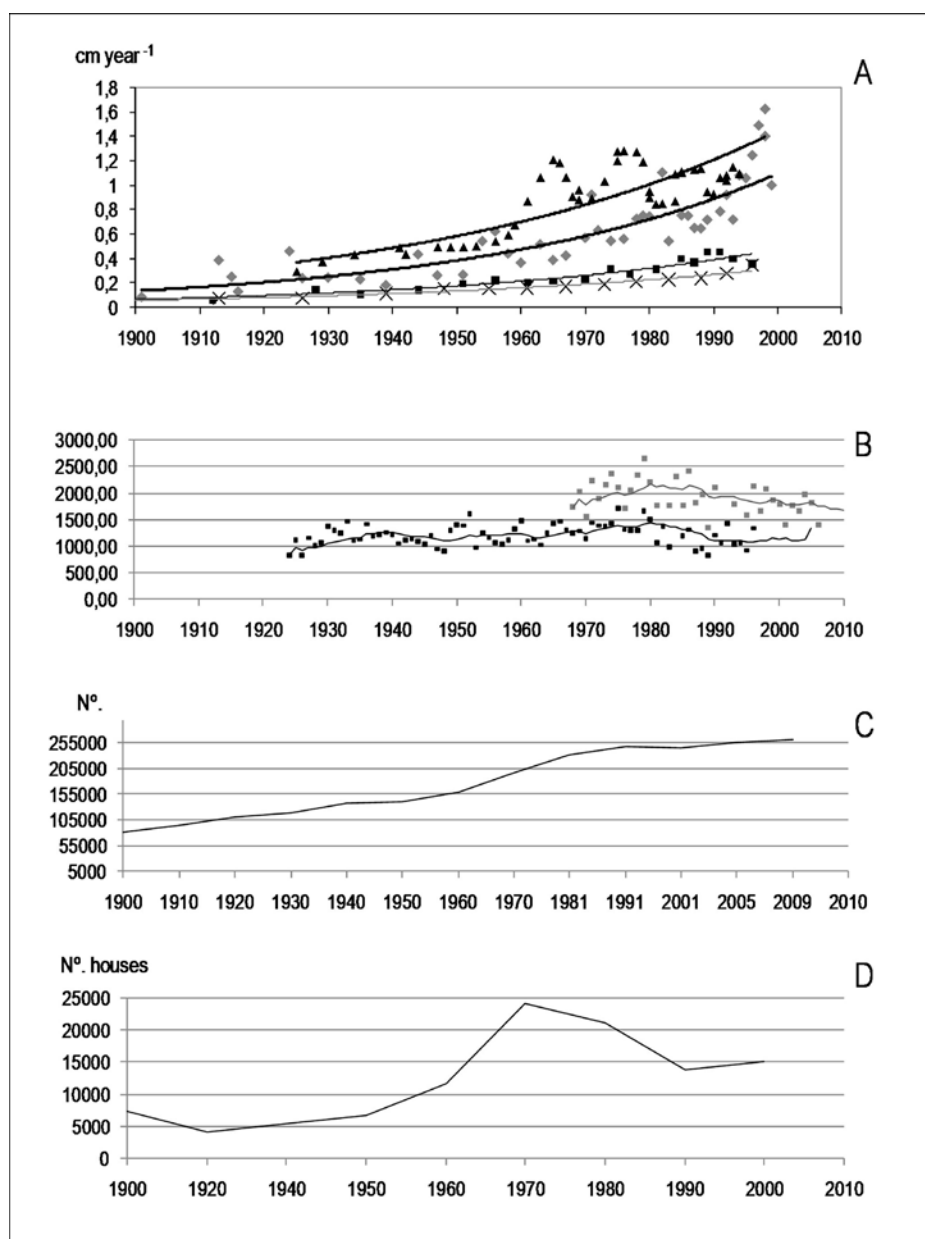


Figura NE.5. Resultados en la Bahía de Santander. A: tasas de sedimentación (con datos de Gelen et al., 2004, Soto-Torres et al., 2007; Viguri et al., 2007). B: precipitaciones en las estaciones más próximas con registros largos y de calidad (Santander y Mirones). C: población. D: construcción de nuevas viviendas. Los datos de población y construcción de viviendas corresponden a los 12 municipios de la cuenca que desemboca en la bahía (de Bruschi et al., 2013).

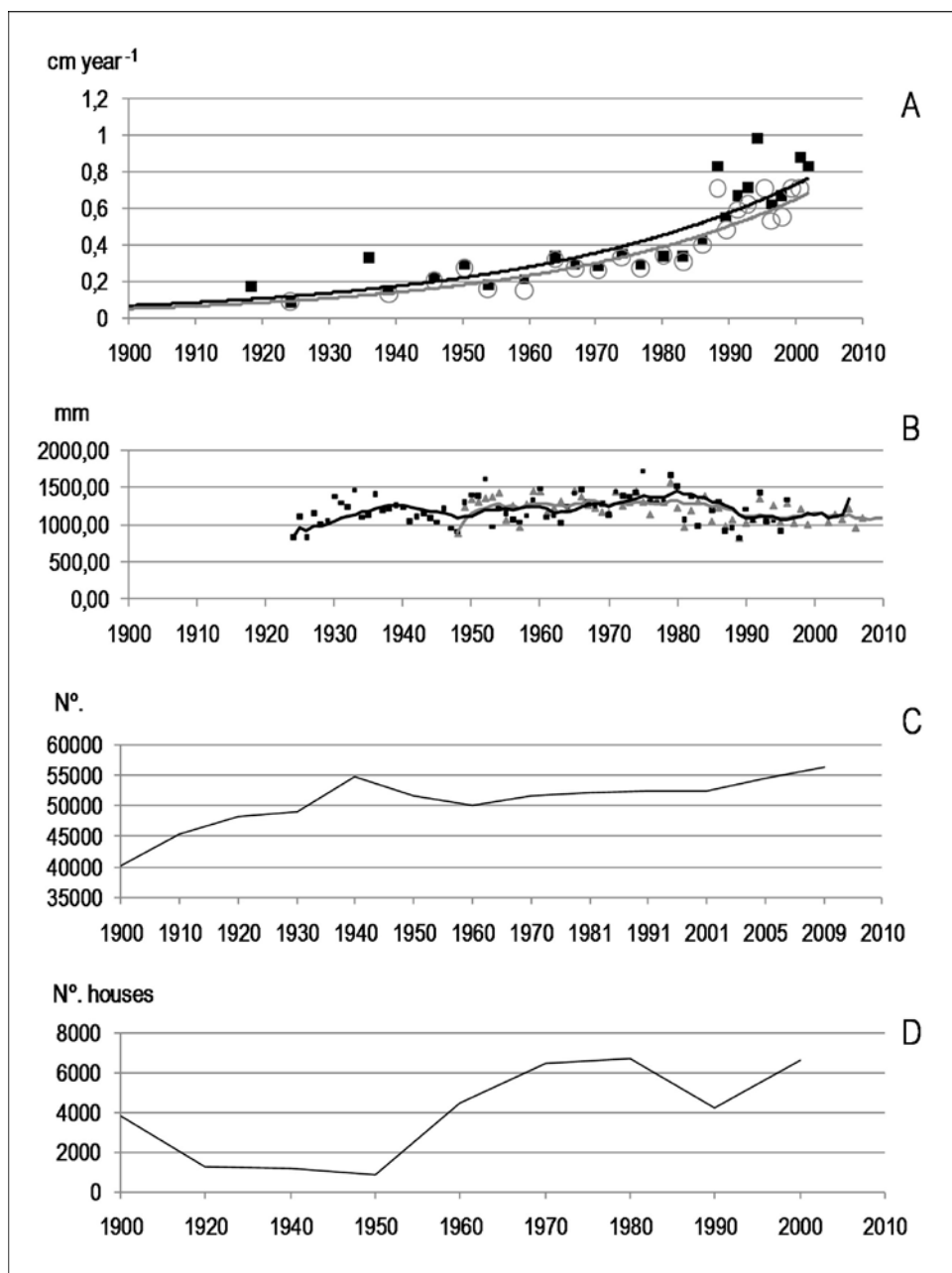


Figura NE.6. Resultados en la Bahía de Santoña. A: tasas de sedimentación (datos de Irabien et al., 2008). B: precipitaciones en las estaciones más próximas con registros largos y de calidad (Santander y aeropuerto de Bilbao). C: población. D: construcción de nuevas viviendas. Los datos de población y construcción de viviendas corresponden a los 13 municipios de la cuenca del río Asón (de Bruschi et al., 2013).

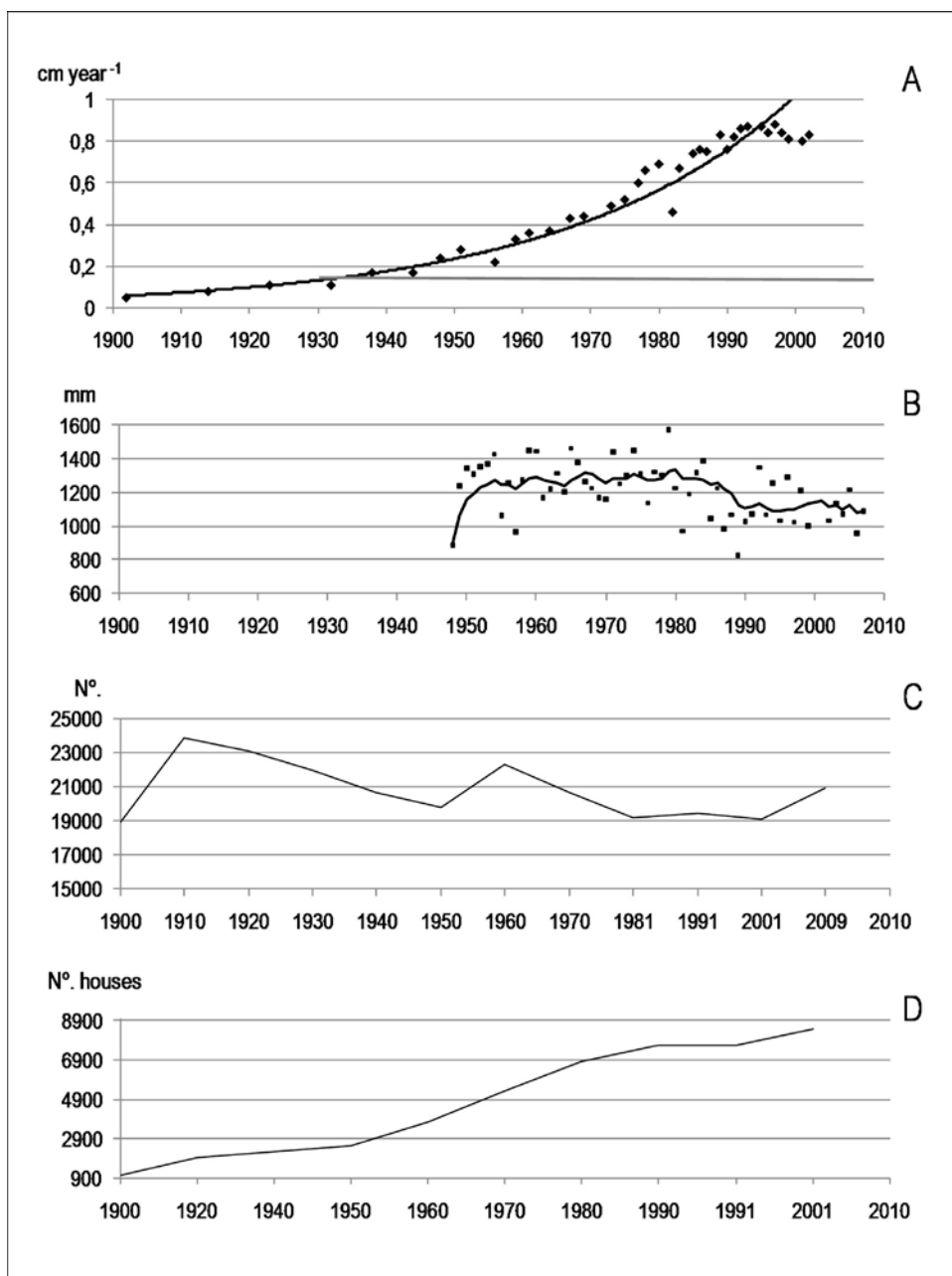


Figura NE.7. Resultados en Muskiz. A: tasas de sedimentación (datos de Cearreta et al., 2008). B: precipitaciones en la estación más próxima con registros largos y de calidad (aeropuerto de Bilbao). C: población. D: construcción de nuevas viviendas. Los datos de población y construcción de viviendas corresponden a los municipios de Arcentales, Galdames, Muskiz, Sopuerta y Abanto (de Bruschi et al., 2013).

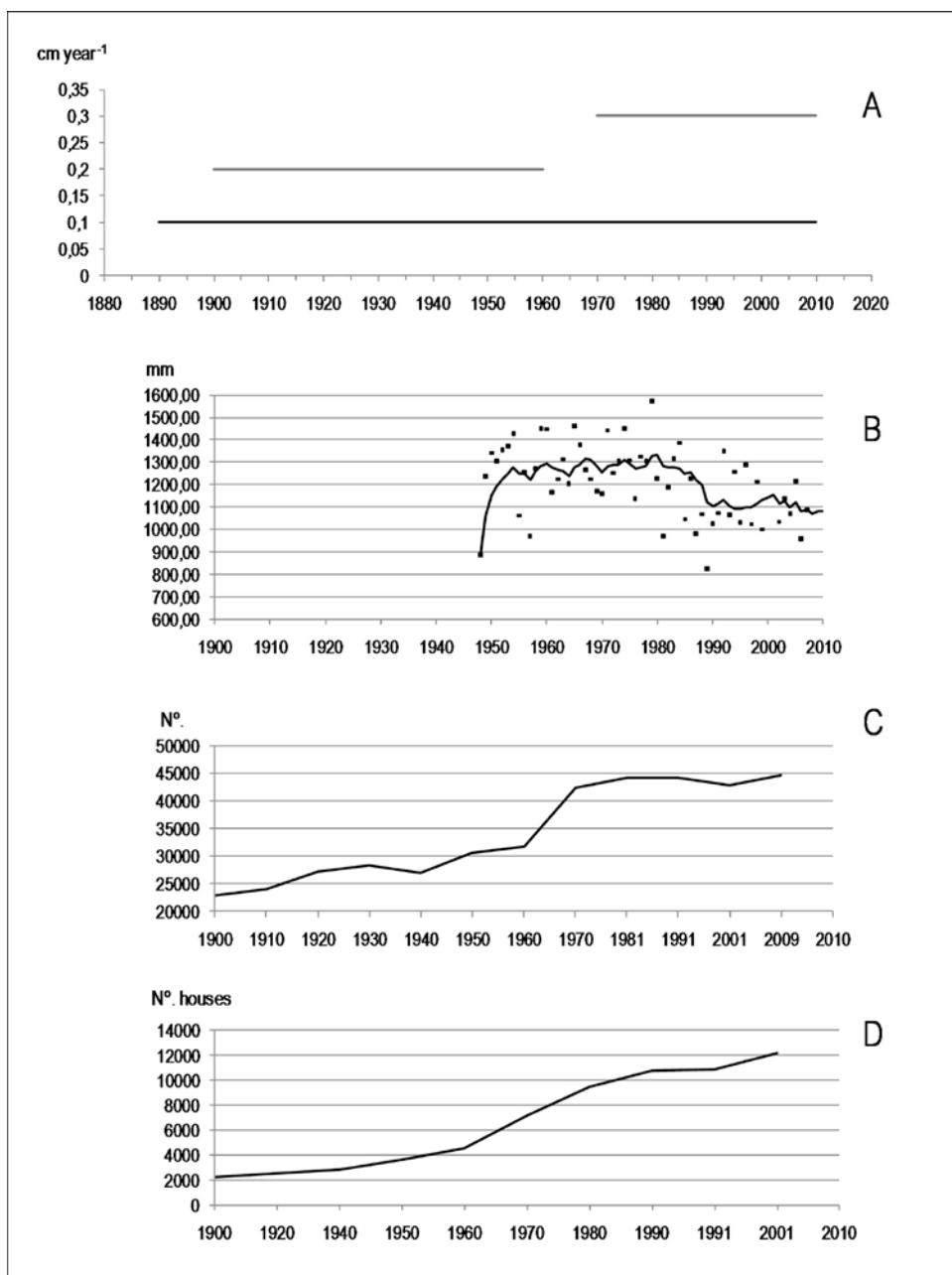


Figura NE.8. Resultados en Urdaibai. A: tasas de sedimentación (datos de Soto et al., 2003). B: precipitaciones en la estación más próxima con registros largos y de calidad (aeropuerto de Bilbao). C: población. D: construcción de nuevas viviendas. Los datos de población y construcción de viviendas corresponden a los 15 municipios de la cuenca (de Bruschi et al., 2013).

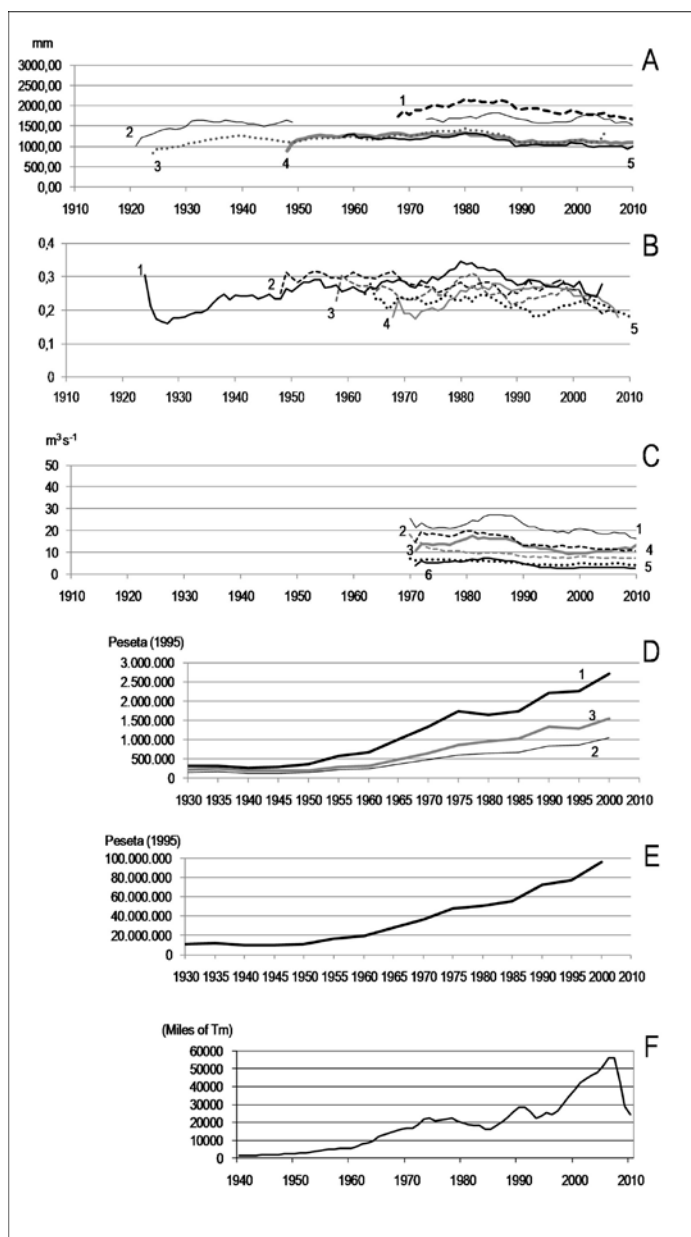


Figura NE.9. Impulsores naturales y humanos en la región. A: precipitaciones (1, Mirones; 2, Pontevedra; 3, Santander; 4 aeropuerto de Bilbao; 5, Molledo). B: contribución de los episodios de lluvias intensas (>P 95, media móvil de 10 años. 1, Santander; 2, Bilbao; 3, Molledo; 4, Mirones; 5, Pontevedra). C: descarga fluvial (1, Asón; 2, Pas; 3, Besaya; 4, Deva; 5, Miera; 6, Agüera). D: PIB de las provincias de Vizcaya (1), Cantabria (2) y Pontevedra (3). E: PIB nacional de España. F: consumo nacional de cemento (de Bruschi et al., 2013).

3.2.6. Australia

Introducción

El caso de Australia se ha analizado con más detalle que los anteriormente presentados. Eso se debe a que este continente-isla es especialmente adecuado para el estudio de los procesos que se consideran aquí. Ha experimentado un periodo de ocupación y colonización reciente y de fecha conocida, presenta unos ambientes geomorfológicos y climáticos bien diferenciados, y también diferencias marcadas en el grado de ocupación del territorio, desde áreas prácticamente desiertas hasta otras con importantes centros urbano-industriales, con expansión acusada en las últimas décadas.

Australia (Fig. Au.0) abarca una superficie de aproximadamente 7,7 millones de km². Los rasgos fisiográficos más salientes (Jennings y Mabbutt (1986), en Pain et al., 2011) son el Escudo Occidental (Western Plateau), una extensa planicie de 300-600 m de altitud; la Cuenca Central (Central Lowlands); y los Altos Orientales o Gran Cordillera Divisoria (Eastern Uplands) que, con alturas entre 600 y 2000 m, se extiende de manera continua desde el Cabo York en Queensland hasta el extremo más austral de Victoria. Entre la Gran Cordillera Divisoria y el Escudo Occidental, se encuentra la Cuenca Central, con alturas de alrededor de 200 m. La topografía en conjunto es extremadamente suave, con altitudes que raramente superan 2000 m y una elevación promedio de 325 m.

Este país reúne casi todos los tipos de climas: desértico en el centro; de sabana en un anillo periférico al anterior y extendiéndose hacia las costas del W y el S; ecuatorial en el extremo N, en la zona de Cabo York; tropical en la parte meridional de este; subtropical en las zonas costeras del NE y SW; templado en la región SE, que es la más poblada. Las temperaturas extremas varían desde >40°C en las regiones desérticas centrales, a <0°C en las regiones altas del sudeste. Las precipitaciones son altamente variables, entre unos 100 mm/año en las zonas desérticas centrales hasta casi 3000 mm/año en algunos puntos de la región sudoriental (Australian Bureau of Meteorology).

La desigual distribución de las precipitaciones, y las características de la red de drenaje, hacen que muchas zonas que atraviesan períodos de sequía, se inunden con aguas transportadas por los ríos desde miles de kilómetros de distancia. Un ejemplo de esto es la extensión seca del lago

Eyre, en el sur, donde las precipitaciones son muy pequeñas, pero experimenta extensas inundaciones después de las precipitaciones ciclónicas que tienen lugar en el norte de Queensland. Los principales ríos son de diseño irregular y aproximadamente el 50% de ellos drenan hacia el interior, terminando en muchos casos en lagos efímeros de agua salada. Las pendientes extremadamente planas del terreno, la escasez de grandes sistemas fluviales, y las bajas tasas de precipitación, implican que el transporte de sedimentos hacia la costa sea limitado (Blewett, 2012). El principal sistema fluvial está formado por los ríos Murray-Darling, que nacen en la Gran Cordillera Divisoria y, luego de recorrer 3670 km, a veces en zonas de muy baja pendiente, desembocan en el océano Índico. La cuenca ha sido afectada desde hace tiempo por actividades agrarias y construcción de represas (Blewett, 2012).

Las actividades agrarias y forestales, así como los cambios de uso del suelo en general, han afectado de manera importante a la sedimentación en los estuarios, con tasas que pasaron en muchos lugares de <5mm/año (en la época anterior a la transformación de la cobertura vegetal nativa) a varios cm/año en las últimas décadas, sobre todo a raíz de la gran mecanización posterior a la Segunda Guerra Mundial (Blewett, 2012).

Las características descritas y la geografía de las costas han sido determinantes para el asentamiento de la población, que se inició a finales del siglo XVIII y principios del XIX. Desde el periodo inicial de la colonización los asentamientos se concentraron en las áreas de clima templado del SE. Las ciudades de esta región (Brisbane, Sydney, Hobart, Melbourne y Adelaide), incluyen más del 55% de la población nacional, y más del 86% de la población del país reside en zonas costeras o cercanas. Las zonas urbanas de la región SE han experimentado una importante expansión en la segunda mitad del siglo XX.

Distribución de los datos obtenidos

En el conjunto de Australia, a partir de las fuentes bibliográficas que se relacionan en las **tablas Au.1 a-17 a**, se han obtenido datos sobre tasas de sedimentación para un total de 143 lugares, correspondientes a áreas geográficas y ambientes de sedimentación bastante diversos. Para su análisis, los datos se agruparon en las siguientes categorías:

1. Uno (1) en un lago (lakes).
2. Veinticuatro (24) en depósitos en llanuras de inundación (floodplain bank deposits).
3. Treinta (30) en humedales o lagunas someras en llanuras de inundación (floodplain wetlands and lagoons).
4. Veintiuno (21) en bahías y estuarios (bays and estuaries).
5. Treinta y seis (36) en albuferas y lagunas costeras (coastal lagoons).
6. Ocho (8) en represas (reservoirs).
7. Catorce (14) en canales fluviales (channel deposits).
8. Nueve (9) en deltas fluviales (fluvial deltas).

Además del análisis por ambientes de sedimentación, se llevó a cabo un análisis por zonas geográficas, agrupando los datos en las siguientes grandes áreas o “cuencas”:

9. Cuatro (4) en la Gran Cuenca de la Costa Sur (South Coast Major Basin) y la Costa Oeste (West Coast).
10. Doce (12) en la Gran Cuenca de la Costa Norte, en las sub-cuencas de los ríos Daly y Normanby (North Coast Major Basin; Daly River Sub basin; Normanby River Sub basin).
11. Treinta y ocho (38) en la cuenca de los ríos Murray-Darling (Murray-Darling River Basin)
12. Ochenta y siete (87) en la Gran Cuenca de la Costa Este (East Coast Major Basin).

Las zonas indicadas y la distribución de los puntos para los que se han obtenido datos se muestran en la **figura Au.0**. Como era de esperar, la gran mayoría de los datos se ubicaron sobre las cuencas de los ríos Murray-Darling y en la cuenca de la costa Este, en coincidencia con las zonas más densamente pobladas y en las que se concentran las principales actividades económicas. En la “cuenca” de la costa Norte (sub cuencas de los ríos Daly y Normanby) se ubicaron un número mucho más reducido de

datos, y unos pocos puntos aislados se localizaron en la cuenca de la Costa Sur y en el extremo occidental del país.

Procedimiento.

El procedimiento de análisis utilizado es similar al seguido en las otras grandes regiones presentadas, pero se ha tratado de profundizar un poco más en algunos aspectos. Con el propósito de investigar si existían efectos visibles de la concentración de la actividad económica y de la población sobre la variación temporal de las tasas de sedimentación, los sitios correspondientes a la cuenca de la costa E se agruparon según su ubicación relativa respecto a las zonas de mayor concentración de las actividades económicas. De esta manera, se delimitaron dos grandes áreas (Fig. Au.0) de características marcadamente diferentes:

13. El Arco Brisbane-Melbourne, en el que también se encuentra Sydney y que representa la mayor concentración urbano-industrial, para el cual se obtuvieron datos de 67 lugares.

Dentro de la zona 13) se analizaron también por separado varias sub-cuencas:

14. Cincuenta y dos (52) datos en las cuencas bajo la influencia directa de los centros urbano-industriales de Brisbane-Sydney-Melbourne.
15. Veinte (20) datos en la sub-cuenca del Lago Ilawarra, dentro del área de influencia de Sydney.
16. Quince (15) datos ubicados en las sub-cuencas no incluidas en las zonas de mayor influencia directa de los centros urbano-industriales.

Luego, se llevó a cabo el análisis en el resto de las zonas de la “cuenca” de la Costa E, en las cuales la influencia de dichos centros es, en principio, menor:

17. Resto de las zonas, de la “cuenca” de la Costa E, en las que se dispone de datos para 20 lugares, 19 de ellos en la cuenca del Fitzroy.

Finalmente, se realizó una síntesis para el conjunto.

Lapsos cronológicos considerados.

De acuerdo con lo comentado en la introducción general de este apartado, en el caso de Australia, hay dos grandes periodos tradicionalmente reconocidos y ampliamente citados en la literatura, “pre-settlement” y “post-settlement”, correspondientes a las épocas anterior y posterior a la ocupación del territorio por parte de los pobladores de origen europeo. Es ampliamente conocido, y ha sido citado por numerosos autores (Brooks y Brierley, 1997; Gell et al, 2005, 2009; Fluin et al, 2007, 2009; Hughes et al, 2010), que el segundo periodo implicó, como era de esperar, un aumento notable de las tasas de erosión y, consiguientemente, de sedimentación. El límite entre ambos periodos es difuso. La ocupación inicial se sitúa a principios del siglo XIX, alrededor de los años 1840-1850 ya era difundida, y se puede considerar como generalizada y con efectos visibles a partir de 1900.

Son numerosos los trabajos que aportan datos de tasas solamente para los periodos “pre-settlement” y “post-settlement”, pero que no definen el límite cronológico entre ambos. Por ello, para expresar esta incertidumbre, en las gráficas se han representado las tasas correspondientes a la época “pre” como previas a 1850/1900 y las de la época “post” a partir de 1900, con una interrogación en el periodo intermedio, o en ambos periodos en ausencia de datos. En algunos casos, se dispone de datos que permiten diferenciar, dentro de la época “post-settlement”, el periodo anterior a mitad del siglo XX (1940-50) y el posterior (Post Segunda Guerra Mundial). En muchos otros casos las tasas del período “post” o reciente, se presentan como un promedio o no se informan las tendencias para periodos posteriores a 1900. En estos casos se han atribuido los valores al periodo BB, comentado en la introducción del capítulo, que abarca desde 1900 al año de ejecución del estudio correspondiente.

Análisis por ambientes sedimentarios

1. Lagos

En este tipo de ambiente se ha obtenido un solo dato, de un lago situado muy cerca del límite norte de la cuenca Este, ubicado en el cráter de un antiguo *maar* dentro de la sub-cuenca Barron. El factor de aumento en este caso entre los periodos CC y DD es de 3 (Tabla Au.1 a). Evidentemente, este único dato hace imposible la ejecución de cualquier análisis comparativo. No hay por tanto tabla Au.1b ni figura Au.1.

2. Depósitos de llanuras de inundación

En los depósitos de llanuras de inundación, en zonas no ocupadas regularmente por agua, hay observaciones en un total de 24 puntos (Tablas Au.2a y Au.2b, Gráfica Au.2 y Figuras Au.2a, b). Las tasas de sedimentación en el periodo AA son casi todas inferiores a 1 mm/año, y bastante menores en su mayoría, con dos valores anómalos, de 3,6 y 23 mm/año. Para el periodo CC, se encontraron 3 sitios con tasas de sedimentación <5mm/año, 3 con tasas de entre 5-10 mm/año y 6 con tasas superiores, que alcanzan en un caso hasta 47 mm/año, situadas en su gran mayoría por encima de 20 mm/año. Es decir, los factores de aumento entre los períodos AA y BB/CC oscilan aproximadamente entre 3 y 40. Para los períodos posteriores a las décadas de 1940/1950 (DD), se encontraron datos para 15 lugares, con valores que en 8 casos son menores a 5 mm/año, en 2 se sitúan entre 5 y 10 mm/año, y en 5 casos presentan valores superiores, que alcanzan hasta 40 mm/año.

Los valores promedio de los datos obtenidos (Tabla Au.2 b), que se reflejan en la gráfica Au.2, son de 3,30 mm/año para el período AA, 13,58 mm/año para el período BB/CC, y 8,27 mm/año para el período DD. Esto representa un factor de aumento de las tasas de sedimentación de 4,12 entre los períodos AA y BB/CC, y un factor bastante más bajo entre AA y DD, de 2,59. Para la interpolación de la “caricatura” de la figura Au.2 a, se ha seleccionado la opción de ajuste logarítmica.

Suprimiendo los valores anómalos de las tasas de sedimentación del período AA ya señaladas (3,6 y 23 mm/año), los promedios calculados no se modifican significativamente. En los casos analizados, se encontraron

solo 3 puntos con valores informados de tasas de sedimentación para todos los períodos (números 87a, 87b y 88 en las tablas Au.2 a, b). Por ello, para verificar si las tendencias en estos sitios se correspondían con las calculadas para el conjunto, se llevó a cabo el mismo análisis para estos 3 casos. Los resultados, confirmaron las tendencias observadas en los análisis anteriores (Fig. Au.2 b).

Los trabajos consultados informan en pocos casos sobre las tendencias de aumento en los períodos más recientes, lo que podría introducir distorsiones en los cálculos de las medias. Hughes et al. (2009), señalan que las tasas de sedimentación encontradas son el resultado de la transformación de campos de pasturas en tierras ocupadas por cultivos intensivos. La mayoría informan acerca de los cambios introducidos a partir de la generalización de la ocupación europea, situando el inicio de estos cambios entre 1850-1900, pero presentan las tasas de sedimentación recientes sin discriminar los períodos posteriores a la segunda mitad del siglo XX. Por su parte, Rustomji y Pietsch, (2007), informan que las tasas de sedimentación aumentan con posterioridad a la implementación de los estilos agrarios europeos, y luego disminuyen de manera paulatina. Según Rustomji et al (2006), las tasas de erosión y sedimentación asociada aumentan desde 1820 hasta aproximadamente 20/40 años atrás, momento a partir del cual informan una declinación como consecuencia de la revegetación sistemática de zonas de pendiente y líneas de drenaje, que disminuirían la erosión, favoreciendo la agradación en los sectores más planos de las planicies de inundación. No obstante, las tasas de sedimentación se presentan como si hubieran sido constantes desde 1820 hasta 1960/1980, no pudiéndose estimar las que tuvieron lugar en forma previa y posterior a la segunda mitad del siglo XX. Hughes et al (2010), informaron que, en las planicies de inundación, las tasas de sedimentación en el período post impacto (BB), aumentaron en un factor de entre 3 y 4 respecto al período anterior. También señalan una declinación de las tasas de sedimentación a partir de la segunda mitad del siglo XX, como consecuencia de la reducción de los procesos de erosión en cárcavas, pero que, por el contrario, estas continúan siendo elevadas en las planicies dominadas por cultivos.

Es importante destacar, como se verá más adelante, que este ambiente es, entre todos los analizados en Australia, el único en el que los promedios del período más reciente (DD) son inferiores a los del conjunto del periodo “post” (BB). Una posible explicación de esta diferencia es, por supuesto, la ya citada atribución de la media del periodo BB (cuando CC y DD no están discriminados) a CC en las figuras. Otra, que los depósitos de

llanuras de inundación son los únicos, entre todos los ambientes analizados, en los que la sedimentación es muy discontinua, controlada sobre todo por las épocas de avenidas de gran magnitud, poco frecuentes y de periodicidad irregular (no determinable a partir de los datos obtenidos).

3. Humedales y lagunas en planicies de inundación

En estos ambientes (humedales, lagunas someras en meandros abandonados o en cauces de crecida, etc.) se han obtenido datos en 30 puntos. Se resumen en las tablas Au.3 a, b y en la gráfica Au.3. Las figuras Au.3 a, b, c, son las caricaturas que sintetizan los resultados del análisis realizado para todos los datos.

La figura Au.3 a, muestra nuevamente marcadas diferencias entre las tasas de sedimentación entre el periodo anterior al inicio de la ocupación europea y el posterior a dicha ocupación. En este período, cuando los autores informaron valores de las tasas de sedimentación <1 mm/año, se adoptó para los cálculos 0,9 mm/año. Las tasas correspondientes al período AA se situaron por debajo de 1 mm/año (bastante menores en la mayoría de los casos), y en uno solo de ellos alcanzaron 2 mm/año. Por su parte, en el periodo BB/CC, las tasas en 2 casos alcanzaron 1 mm/año, en 9 casos se situaron entre 1- 5 mm/año, y fueron >5 mm/año en los restantes, alcanzando en un caso el valor anómalo de 35 mm/año.

Los valores promedio de los datos obtenidos (Tabla Au.3 b), que se reflejan en las “caricaturas” de la figura Au.3 a, son de 0,53 mm/año para el periodo AA, 6,67 mm/año para el BB/CC y 13,62 mm/año para el período DD. Esto representa factores de aumento de 12,49 y 25,51 respectivamente. El factor de aumento entre los periodos anterior y posterior a la GMII, (CC-DD) es de 2,04. Como ya se ha señalado, si fuera posible discriminar en todos los casos entre los periodos BB y CC, las diferencias de tasas entre CC y DD serían seguramente más marcadas. Para la interpolación de la caricatura que se muestra en la figura Au.3 a, se ha seleccionado la opción de ajuste exponencial.

Suprimiendo el valor anómalo ya señalado del período BB/CC (35 mm/año), los promedios calculados no se modifican significativamente, obteniéndose un factor de aumento de 2,59 entre este período y el DD.

Hay 5 puntos para los que se dispone de información de tasas de sedimentación para los períodos BB/CC y DD, siendo estas claramente

más elevadas que las primeras para el lapso temporal más reciente. Se ha realizado el mismo análisis para estas 5 observaciones (Fig. Au.3 c). Los resultados obtenidos en esta figura mostraron tasas medias de sedimentación para el período AA de 0,53 mm/año, 5,06 mm/año para el período BB/CC y 18,03 mm/año para el período posterior a DD. Equivalentes a factores de aumento de 9,48 y 33,80, respectivamente. El factor de aumento entre BB/CC y DD es de 3,56. Tanto este conjunto como el anterior, muestran una aceleración aritmética en el último periodo.

De acuerdo con las fuentes consultadas, las tasas de sedimentación aumentaron en todos los lagos y humedales de las zonas estudiadas, como mínimo, en un factor 2, y en más de 8 respecto a las tasas del Holoceno tardío. Muchos humedales se colmataron totalmente durante el Holoceno y muchos otros se transformaron en tiempos más recientes en ambientes terrestres, debido a la aceleración de las tasas de acumulación (Gell et al, 2009). En algunos casos, se ha informado una declinación de las tasas de sedimentación como consecuencia de la construcción de obras de regulación, especialmente a partir de la década de 1920, pero en otros casos estas muestran una aceleración en tiempos recientes (Gell et al, 2005, 2006, 2009; Gell y Little, 2007; Leahy et al, 2005; Grundell et al, 2012). Otros autores han analizado la contribución de las actividades humanas en importantes cambios en el régimen hidrológico de los ríos en zonas afectadas por la intensificación de los cambios de uso del suelo y la urbanización en zonas densamente pobladas, informando una aceleración de las tasas de sedimentación en tiempos recientes (Lintern et al, 2016).

4. Bahías y estuarios

Se incluyen dentro de este ambiente los datos relativos a 21 puntos costeros que mantienen una buena comunicación e intercambio con el medio marino exterior. La información se resume en las tablas Au.4 a y b, gráfica Au.4 y figuras Au.4 a, b.

Entre los datos para el periodo AA, la tasa máxima es de 0,08 mm/año. Para el conjunto BB/CC los valores oscilan entre 0,5 y 12,5 mm/año. Entre estos, 13 datos mostraron tasas de sedimentación <5 mm/año y dos >10 mm/año. Para el periodo DD se han encontrado 9 casos situados entre 1-5 mm/año, 5 casos entre 5-10 mm/año y 5 casos >10 mm/año, alcanzando hasta 26,5 mm/año.

Los valores promedio de los datos obtenidos (Tabla Au.4 b, Gráfica Au.4), que se reflejan en las caricaturas de la figura Au.4, son 0,24 mm/año para el periodo AA, 3,21 mm/año para BB/CC y 8,10 mm/año para DD. Esto representa factores de aumento de 13,22, para AA-BB/CC y 33,40 para AA-DD. El factor de aumento para BB/CC-DD es 2,53. Nuevamente, debe destacarse que, si fuera posible discriminar en todos los casos las tasas de los periodos CC y DD, las diferencias entre ambos serían seguramente más marcadas. Para la interpolación de la caricatura que se muestra en la figura Au.4 a, se ha seleccionado la opción de ajuste exponencial. En todo caso, se aprecia una clara aceleración aritmética.

Se ha realizado también el análisis para los 13 casos en los que hay datos sobre tasas de sedimentación para los periodos BB/CC y DD, que muestran tendencias muy similares a los anteriores. Luego, se analizó el único punto con datos para los tres lapsos temporales. Las tasas medias en este caso fueron: 0,01mm/año para AA, 4,00 mm/año para BB/CC y 2,64 mm/año para DD. Los factores de aumento para AA-BB y AA-DD son 400 y 264 respectivamente. Entre BB/CC y DD el factor es 0,66.

De acuerdo con las fuentes bibliográficas consultadas, en algunos lugares las tasas de sedimentación mostraron declinaciones en los periodos más recientes, que podrían ser en respuesta a factores tanto climáticos como antrópicos, relacionados con mejoras de las prácticas de uso del territorio (Logan et al, 2011; Brearly, 2008; Murray et al, 2008). Otros autores, informan aumentos en las tasas de sedimentación en tiempos recientes, que mostrarían buena correlación con los principales cambios introducidos por las actividades humanas, tales como la deforestación, introducción de estilos agrarios europeos, el desarrollo industrial y la expansión urbana (Morelli et al, 2012; Hancock et al, 2001).

5. Albuferas y lagunas costeras

Se incluyen en este grupo las lagunas costeras que no tienen una comunicación directa con el medio marino exterior o bien que poseen una comunicación muy reducida (“coastal lagoons”). Los datos correspondientes a los 36 puntos analizados se resumen en las tablas Au.5 a, b, así como en la gráfica Au.5 y las figuras Au.5 a, b.

En este ambiente se obtuvieron 29 valores para el periodo AA, con 26 casos <1 mm/año (buena parte de ellos situados muy próximos a 1 mm/año), y 4 casos con valores ligeramente superiores. Los valores para

el conjunto del período BB/CC, fueron 23 y oscilaron entre 0,5 y 9,1 mm/año. Entre estos, 20 datos mostraron tasas de sedimentación <5 mm/año y tres >5 mm/año, alcanzando uno de ellos los 9,1 mm/año. Para el período DD hay 25 valores, de los cuales 10 fueron <5 mm/año, en 6 casos se situaron entre 5-10 mm/año, y en los restantes 9 casos, las tasas de sedimentación fueron >10 mm/año, alcanzando valores de hasta 30 mm/año.

Los promedios de los datos obtenidos, que se reflejan en la Tabla Au.5 b, fueron para el período AA de 0,64 mm/año, de 2,50 mm/año para el período BB/CC, y de 7,99 para el período DD. Estos valores se corresponden con factores de aumento de 3,88 para AA-BB/CC, de 12,40 para los períodos AA-DD, y de 3,20 para BB/CC-DD. Como en casos anteriores, los valores que se muestran en la figura Au.5 a han sido interpolados utilizando la opción de ajuste exponencial.

En este ambiente se obtuvieron 12 casos con datos de tasas de sedimentación para los períodos anteriores y posteriores a la segunda mitad del siglo XX. Como en casos anteriores, el mismo análisis se ha llevado a cabo con estas 12 observaciones. Los resultados de este nuevo análisis, mostraron factores de aumento de 4,64 para AA-BB/CC, de 18,15 para AA-DD y de 3,91 para BB/CC-DD. Es decir, tendencias similares a las encontradas para el conjunto de los datos. Finalmente, se llevó a cabo el mismo análisis con los puntos con datos para los tres lapsos temporales. Los resultados que se muestran en la figura Au.5 b, representan factores de aumento de 3,65 para AA-BB/CC, 20,28 para AA-DD y 5,56 para BB/CC-DD, lo que sugiere una aceleración más marcada a partir de la segunda mitad del pasado siglo.

Los trabajos consultados informan acerca de la degradación en la porción baja del río Murray, definida como un complejo mosaico de lagunas costeras y humedales altamente degradados por la regulación del río, con consecuencias sobre la salinización y la aceleración de las tasas de sedimentación. Estos efectos han aumentado en los tiempos recientes, debido a la constricción de la boca del río (Fluin et al 2007, 2009). En algunos casos, se presentan tasas de sedimentación para la totalidad del período “post-settlement”, sin que se encontraran datos que permitan discriminar las mismas para períodos más recientes, a partir de gráficas o datos numéricos. En otros casos, se presentan las tasas de los períodos más recientes, o los datos que permiten realizar su cálculo o estimación (Gell et al 2005, 2006, 2009; Fluin et al 2007, 2009). Hancock y Piestch (2006) reportan, en las cuencas de los Gippsland Lakes, una aceleración

significativa de las tasas de sedimentación durante las décadas de 1940-1950, seguida de otro aumento en las tasas de acumulación durante 1960-1970 y 1970-1980, aunque de manera no tan marcada como la primera. En cuencas de distintas lagunas costeras, ubicadas en zonas afectadas tempranamente por la implementación de estilos agrarios europeos, y posteriormente impactadas por el desarrollo industrial y la expansión urbana, distintos autores informaron acerca de la aceleración de los procesos de sedimentación, reportando buenos ajustes entre los valores encontrados y la intensificación de las actividades humanas, y presentado datos acerca de las tasas de sedimentación de los períodos posteriores a la segunda mitad del siglo XX (Chenhali et al, 1995; Sloss et al, 2004a, 2004b, 2006, 2011; Hollins et al, 2011).

6. Represas

Se han encontrado datos en 9 puntos correspondientes a represas o lagos artificiales formados como consecuencia de la ejecución de obras hidráulicas de regulación. Los datos se resumen en las tablas Au.6 a, b y gráfica Au.6. En todos estos casos la información temporal es limitada y, como es lógico, no existen datos del período “pre-settlement”. Como era de esperar, casi todos los puntos presentan datos para el periodo DD. En 3 casos hay datos para ese periodo y el CC.

Los promedios de los valores para el primer período, correspondientes a la etapa de llenado y que en algunos casos incluyen lapsos temporales posteriores, se presentan en la tabla Au.6b, y se sitúan en 10,04 mm/año. Los promedios de períodos posteriores a la segunda mitad del siglo XX, se sitúan en 23,83 mm/año, un factor de aumento 2,37. La figura Au.6, es la caricatura que representa los datos de manera semicuantitativa.

Algunos autores informaron alteraciones debidas a la ejecución de obras de regulación que afectaron a este tipo de lugares y dieron origen a humedales artificiales a partir de 1920, donde se reportaron altas tasas de sedimentación incluso para los períodos más recientes (Gell y Little, 2007, Fluin et al, (2011).

7. Depósitos en cauces fluviales

Para este tipo de ambiente se han obtenido datos en 14 puntos, correspondientes sobre todo a barras en canales. La información se presenta en las tablas Au.7 a, b y la gráfica Au.7. Todas las tasas para el periodo AA son claramente inferiores a 1 mm/año. En 12 casos, se obtuvieron las tasas de sedimentación para el período BB/CC, 4 de ellas situadas entre 5-10 mm/año, y 8 >10 mm/año. En solo dos casos, se obtuvieron las tasas de sedimentación para el período DD, que alcanzaron 23 y 31 mm/año (Tabla Au.7 b y Fig. Au.7).

Los promedios de los valores encontrados (Tabla Au.7 b y Fig. Au.7), fueron 0,14 mm/año para el período A, 12,51 mm/año para BB/CC, y 27 mm/año para el período DD. Estos valores representan factores de aumento de 88,64 para AA-BB/CC, casi 200 en AA-DD, y de 2,16 para BB/CC-DD. La caricatura correspondiente se muestra en la figura Au.7. No se han encontrado puntos con datos para los periodos anterior y posterior a la GMII (CC y DD).

Aunque el valor del análisis en este tipo de ambientes es limitado, debido al bajo número de observaciones obtenidas, el aumento es considerable y comparable a los presentados en los otros ambientes analizados. No obstante, Hughes et al (2010), informaron que las barras en canales fluviales podrían ser el resultado de la movilización reciente de sedimentos acumulados durante el período “post settlement”. Teniendo esto presente (aunque no esté claramente establecido), estos resultados deberían tomarse con la máxima cautela.

8. Deltas

Se han obtenido datos para 9 deltas lacustres. La información obtenida se sintetiza en las tablas Au.8 a, b.

Los 3 datos obtenidos para el período AA varían entre 0,3 y 1,6 mm/año. Para el período BB/CC hay 5 datos, 4 de ellos con tasas entre 1-6,5 mm/año, y una <1mm/año. Para el período DD hay 4 datos, situados entre 3,5 -31,6 mm/año (Gráfica Au.8). Los promedios de los valores encontrados (Tabla Au.8 b) son 0,79 mm/año para AA, 3,27 mm/año para el período BB/CC, y 15,40 mm/año para el período DD, Equivalentes a factores de aumento de 4,14 para AA-BB/CC, 19,49 para AA-DD, y 4,71 entre BB/CC y DD. La figura Au.8, es la caricatura que representa de

manera semicuantitativa los valores obtenidos. En ella se aprecia una aceleración geométrica.

No se ha encontrado ningún punto con valores para el periodo anterior y posterior a la GMII. También en este ambiente el valor del análisis que se presenta es limitado debido al bajo número de observaciones. De todos modos, el aumento encontrado es importante y comparable a los presentados en otros ambientes analizados.

Análisis por cuencas y zonas geográficas

Las observaciones se han agrupado, cuando ha sido posible, para su análisis por cuencas fluviales o grandes “cuencas” costeras del país.

9. Gran Cuenca de la Costa Sur

Los datos sobre los 4 puntos para los que se han obtenido datos se presentan en las tablas Au.9 a, b y en la gráfica Au.9.

Los promedios de los valores encontrados (Tabla Au.9 b) son 0,53 mm/año para BB/CC, y 9,72 mm/año para DD. Representan un factor de aumento de 18,51 entre BB/CC y DD. La figura Au.9, es la caricatura correspondiente a esos datos.

Evidentemente, los valores encontrados son muy pocos para tener una idea cabal sobre una cuenca tan amplia y diversa, pero sugieren una fuerte aceleración de las tasas de sedimentación en los tiempos más recientes.

10. Gran Cuenca de la Costa Norte

En la gran cuenca de la costa Norte, se obtuvieron 12 datos que se presentan de manera sintética en las tablas Au.10 a, b y en la gráfica Au.10.

Los promedios de los valores encontrados (Tabla Au.10 b, Gráfica Au.10) son 4,61 mm/año para el AA, 16,63 mm/año para BB/CC, y 27 mm/año para DD. Los factores de aumento son: 3,61 para AA-BB/CC, 5,85 para AA-DD y 1,62 para BB/CC-DD. La caricatura a partir de los datos anteriores se muestra en la figura Au.10. En esta caricatura se ha tenido en cuenta que, si hubiera datos que permitieran discriminar las décadas más recientes del conjunto del periodo BB, las diferencias serían probablemente mayores.

A pesar de la inevitable cautela con la que hay que considerar estos resultados, por lo limitado de los datos obtenidos, parece clara la tendencia al aumento de las tasas en esta cuenca, aunque sin aceleración en el último período.

11. Cuenca del Murray-Darling

En la cuenca del Murray-Darling, se han obtenido observaciones en 38 puntos correspondientes a distintos ambientes de sedimentación, (Tabla Au.11 a). Esta cuenca se extiende en una superficie de aproximadamente $1,073 \times 10^6 \text{ km}^2$, sobre ambientes montañosos en el SE, con precipitaciones estivales que aportan la mayor parte de la escorrentía, y condiciones de aridez en el SW. La porción más septentrional está en la zona subtropical, donde esporádicamente se generan elevados caudales durante el verano y el otoño. La ocupación europea del territorio se produjo a partir de la década de 1840, y en la actualidad aporta el 40% del PIB agrario del país. Más del 80% de los recursos hídricos superficiales se utilizan para riego y uso doméstico (Commonwealth of Australia, 2001).

En esta cuenca se obtuvieron 26 datos para el período AA, todos con valores iguales o $<1 \text{ mm/año}$, a excepción de un solo caso que alcanzó a 2 mm/año . Para el período BB/CC se encontraron 31 datos, 3 <1 , 14 situados entre $1\text{-}5 \text{ mm/año}$, 10 entre $5\text{-}10 \text{ mm/año}$, y 4 $>10 \text{ mm/año}$, con uno que alcanza 35 mm/año . Para el período DD, se obtuvieron 18 datos, de los cuales 1 resultó $<5 \text{ mm/año}$; 4 se situaron entre $5\text{-}10 \text{ mm/año}$; 7 entre $10\text{-}20 \text{ mm/año}$, y 6 $>20 \text{ mm/año}$, alcanzando valores de hasta $57,9 \text{ mm/año}$ (Tabla Au.11 b y Gráfica Au.11). Los promedios (Tabla Au.11 b), fueron $0,45 \text{ mm/año}$ para AA, $6,16 \text{ mm/año}$ para BB/CC, y $18,37 \text{ mm/año}$ para el período DD. Corresponden a factores de aumento 13,63 para AA-BB/CC, 40,64 para AA-DD, y 2,98 para BB/CC-DD. En la figura Au.11 a se representa la evolución de manera semicuantitativa.

Como en casos anteriores, debe señalarse que, si fuera posible discriminar en todos los casos las tasas de los períodos anterior y posterior a la GMII, especialmente en aquellos casos con elevados valores para la totalidad del período “post” (BB), pero en los que no se puede separar los periodos iniciales y finales del siglo XX, las diferencias entre CC y DD serían seguramente más marcadas. Debido a que esto no es posible, para la interpolación de la caricatura que se muestra en la figura Au.11 a, se ha seleccionado la opción de ajuste exponencial.

En la tabla Au.11 b se observa que hay 11 casos con datos para los periodos BB/CC y DD. Las tasas promedio en este caso son: AA. 0,44; BB/CC, 5,23; DD, 16,15. Si se seleccionan los 7 puntos con datos para los tres periodos, los valores medios respectivos son $0,44 \text{ mm/año}$, $3,21 \text{ mm/año}$ y $17,73 \text{ mm/año}$. En ambos casos tendencias muy similares a las obtenidas para el conjunto de los datos (Fig. Au.11 b, c). Los dos conjuntos muestran una aceleración aritmética.

12. Gran Cuenca de la Costa Este

La costa este del país, y principalmente el arco situado desde Brisbane a Melbourne, constituye la zona más densamente poblada, y donde se concentran las principales actividades económicas. Para esta “cuenca” (en realidad, conjunto de cuencas) se obtuvieron datos sobre 87 puntos (Tabla Au.12 a).

Los promedios de los valores encontrados, y los factores de aumento correspondientes, se presentan en la tabla Au.12 b, y gráfica Au.12. La representación semicuantitativa de las tendencias de variación de las tasas se representa en la figura Au.12 a. Los valores promedio para los periodos considerados son, 0,59 mm/año, 5,40 mm/año y 7,96 mm/año, siguen a grandes rasgos las tendencias de otras zonas o ambientes analizados, si bien con un aumento menos marcado en la segunda mitad del siglo XX, no apreciándose aceleración.

Como en otros casos, se han hecho análisis para conjuntos más reducidos de datos, seleccionados a partir de la tabla Au.12 b. Los 8 lugares con datos para los tres lapsos considerados arrojan promedios de 0,56 mm/año, 2,85 mm/año y 5,62 mm/año. Como se aprecia fácilmente, las tendencias se asemejan a las correspondientes al conjunto de los datos (Fig. Au.12 b, c), si bien en este caso, hay una aceleración aritmética.

Análisis por subcuencas

Con el fin de analizar con más detalle la evolución temporal de las tasas de sedimentación en esta “cuenca”, se han considerado varias “subcuencas” (Fig. Au.1 a), en función del grado de influencia humana sobre las mismas.

13. Arco Brisbane-Melbourne

Dentro de la Costa E, la parte más afectada por la concentración de población y actividades económicas, es la designada como arco Brisbane-Melbourne, para el que se dispone 67 puntos con datos. Las medias para

los tres periodos considerados son en este caso 0,58 mm/año, 5,36 mm/año y 7,93 mm/año (Tabla Au.13 b, Gráfica Au.13, Fig. Au.13 a).

Analizando los 6 puntos con datos para los tres lapsos temporales, se tienen resultados muy similares (0,50, 3,34; 6,46 mm/año; Tabla Au.13 b.1 y Fig. Au. 13 b), pero a diferencia del conjunto anterior, se manifiesta una aceleración aritmética.

14-15. Áreas de influencia de Brisbane-Sydney-Melbourne.

Los datos en la tabla Au.14 b y figuras Au.14 a, b corresponden a los puntos en los entornos de las tres grandes áreas urbanas citadas. Las tasas promedio para el conjunto son: 0,69; 3,32; y 7,99 mm/año. La tabla Au.15 b y figura Au.15 a, b presentan datos de la cuenca del Lago Ilawarra, situado en las inmediaciones de Sydney y sujeto, en principio, a los efectos de las intensas transformaciones del territorio en esa zona durante las últimas décadas. En este caso las tasas promedio para los tres periodos considerados son: 0,91; 3,38; y 10,47 mm/año. Las tasas promedio en el periodo más reciente son más elevadas que en el conjunto de la Costa E y del arco, no mucho en el primer caso, pero sí en la cuenca del Lago Ilawarra. En las 4 figuras se aprecia con claridad una aceleración aritmética.

16. Resto del arco Brisbane-Melbourne.

Si analizamos ahora los datos correspondientes a puntos de este “arco” que se ubican fuera de las áreas de influencia de los tres entornos urbanos anteriores (Tabla Au.16 b y Fig. Au.16), vemos que los promedios de las tasas son: 0,26; 9,15; 7,15 mm/año.

Esto es, esta zona presenta, en comparación con el resto del arco, un incremento más acusado de las tasas de sedimentación en la primera parte del siglo XX, y una reducción en la segunda. Esto podría ser consecuencia de la gran expansión de los centros urbanos de Brisbane, Sydney y Melbourne después de la GMII, que habría afectado en menor medida a las zonas fuera de su entorno, pero no disponemos de datos que permitan afirmarlo con seguridad. Hay que tener presente, no obstante, las varias veces citada atribución de los promedios de BB a CC.

17. Resto de la Costa E

En esta zona, bastante menos afectada por las actividades humanas, se han obtenido observaciones en 20 puntos, 19 de los cuales se encuentran dentro de la sub-cuenca del río Fitzroy. El restante, muy próximo al límite septentrional de la gran cuenca de la Costa Este, corresponde a un lago situado en un ambiente muy particular (lago en un *maar*; Tabla Au.17 a), y ha sido excluido del análisis. Los datos sobre los 19 puntos se presentan de manera sintética en la tabla Au.17 b, gráfica Au.17 y figura Au.17. Según se puede ver, los promedios para los tres periodos considerados son: 0,66; 6,42; 8,36 mm/año. Los resultados muestran una reducción del ritmo de aumento de las tasas de sedimentación en el período más reciente, que podría deberse a una menor intensidad de las actividades humanas.

En todo caso, la escasa cantidad de valores obtenidos para el período BB/CC, respecto al elevado número de datos encontrados para el posterior a la segunda mitad del siglo XX, dificulta las comparaciones, pues uno o dos valores pueden afectar fuertemente al conjunto. Algo similar ocurre con el bajo número de datos del periodo DD, en comparación con el BB/CC, en la tabla Au.16 b, correspondiente a las zonas con menos influencia humana dentro del arco Brisbane-Melbourne.

En todo caso, en estas zonas con menor influencia de las grandes aglomeraciones urbanas, no se aprecia aceleración en el último periodo.

Recapitulación para la Costa Este

Del análisis comparativo de los resultados obtenidos para las distintas zonas en que se ha delimitado a la Gran Cuenca de la Costa Este, se pueden aventurar algunas interpretaciones: (i) los datos para la totalidad de la cuenca mostraron una tendencia de aumento significativa para todos los períodos, que se acentuó en las décadas posteriores a la segunda mitad del siglo XX; (ii) cuando se agruparon los datos de la zona comprendida en el Arco Brisbane-Melbourne, las tendencias de aumento fueron también marcadas; (iii) estas tendencias se acentuaron, aún más, en las sub-cuencas ubicadas dentro de las áreas de influencia directa de los centros urbano-industriales de Brisbane-Sydney-Melbourne; (iv) las tendencias de aumento fueron aún mayores al limitar el análisis a la zona bajo la

influencia directa de Sydney (cuenca del Lago Ilawarra); (v) las tendencias se atenuaron y/o revirtieron, al analizar las áreas excluidas de la influencia de las zonas donde se concentran la población y las actividades económicas. Esto parece indicar que, en conjunto, las tasas de generación de sedimento (y consiguiente sedimentación) en esta parte del país han estado muy influidas por el desarrollo de las grandes áreas urbano-industriales, sobre todo en el último medio siglo. No tenemos datos que permitan aventurar una explicación para el fuerte aumento de las tasas en el periodo intermedio, en las zonas menos sujetas a la influencia de las áreas urbanas.

Análisis para el conjunto del país

En este análisis se han incluido los datos obtenidos sobre todos los puntos, independientemente de su ubicación geográfica y del ambiente de sedimentación, y se han hallado los promedios para los tres lapsos temporales considerados. Como en casos anteriores, se han hallado los promedios de las tasas de sedimentación para cada periodo, en primer lugar utilizando todos los puntos (tabla Au.18 b1, y figura Au.18 a) y en segundo lugar solamente los que cuentan con datos para los tres lapsos temporales establecidos (tabla Au.18 b2 y figura Au.18 b). Ambos resultados muestran claramente la tendencia general de aumento de las tasas, con una fuerte aceleración aritmética en el segundo caso.

Análisis de los impulsores

Para el análisis de la posible correspondencia entre las tasas de sedimentación y los impulsores humanos se ha utilizado, como indicador sintético de estos últimos, la densidad del PIB/km² (la *presión geomorfológica humana* de Bruschi et al., 2013 a, b). Para ello, se ha procedido a la obtención del producto interno bruto (PIB) de las unidades geográficas consideradas, para una serie temporal de más de 100 años. Para el PIB nacional se utilizó la serie económica de Madison (2010), expresada en dólares internacionales Geary-Khamis a precios constantes de 1999, que cubre un amplio período histórico para la totalidad de las naciones del mundo. Esta serie, al encontrarse expresada en una unidad internacional y en la misma base de actualización, permite realizar comparaciones entre distintos países para diferentes períodos de tiempo.

El PIB para unidades territoriales menores, dentro de Australia, se ha estimado tomando como base la información estadística, económica y demográfica, proporcionada por el servicio de estadísticas del gobierno de Australia (Australian Bureau of Statistics; <http://www.abs.gov.au>). Para el cálculo del PIB regional se ha utilizado el producto bruto regional obtenido del sistema australiano de cuentas nacionales, que provee información de los distintos estados para la serie temporal 1990-2015 (Commonwealth of Australia 2015). Con base en esta información, se ha podido determinar la contribución histórica en los últimos 25 años, de cada uno de los estados al PIB total.

Para calcular la distribución espacial del PIB dentro de cada jurisdicción administrativa, se han adoptado como unidades espaciales las Áreas de Gobierno Local (LGA por sus siglas en inglés). Mediante el cálculo del PIB per cápita de cada uno de los estados, se recalculó el PIB de cada LGA. Este procedimiento ha permitido realizar una aproximación realista de la distribución espacial del PIB de Australia para 2011, con los datos del censo nacional de población de para ese año (Australian Bureau of Statistics, 2014).

La distribución espacial del PIB en los períodos anteriores a 2011, se estimó para los años más próximos a principios y mediados del siglo XX. Para ello, se utilizó la información de los censos de población de los años 1911 y 1954, disponibles para su descarga en la web del Australian Bureau of Statistics (<http://www.abs.gov.au>). La tarea implicó la georeferenciación de las unidades censales de los años 1911 y 1954, con apoyo en la información cartográfica provista en cada uno de los censos, y su ubicación dentro de los límites de las LGA actuales, utilizando el mapa elaborado por Geoscience Australia (2011).

De esta manera, se estimó la distribución espacial del PIB para los años 1911, 1954 y 2011, calculando a partir del área de los polígonos de las LGA, su densidad o PIB/km². Además, se estimó la media del PIB/km² para los lapsos temporales 1800-1900; 1900-1950; y 1950-2010, utilizando la serie histórica de población, PIB total y PIB per cápita producida por Madison (2010), actualizada por Bolt & van Zanden (2013), y la serie de población total y por estados 1901-2011 (<http://www.abs.gov.au>). El cálculo del PIB/km² para cuencas, regiones y sub-cuencas, se realizó por superposición y cruzamiento de los mapas de densidad, con el mapa de cuencas hidrográficas de Australia producido por Geoscience Australia (Commonwealth of Australia, 2004).

A partir de estos cálculos y por medio de un SIG, se elaboraron los mapas de distribución espacial del PIB/km² para los años 1911, 1954 y 2011, y para los períodos 1800-1900, 1900-1950, y 1950-2010, utilizando en el último caso el valor promedio de este indicador para cada uno de los períodos.

Si bien se ha utilizado al PIB como indicador sintético de las actuaciones humanas sobre el territorio, se han tenido en cuenta las limitaciones de su carácter agregado. Debe señalarse que el sector primario de la economía, que incluye una parte importante de las actividades directamente relacionadas con las modificaciones introducidas por el hombre sobre la superficie de la tierra, ha disminuido su contribución relativa en el producto total. Sin embargo, ha habido una fuerte expansión del sector terciario, sobre todo desde mediados de los años 1960, así como de actividades relacionadas con la expansión urbana y de infraestructuras o de tipo extractivo. Estas, como se ha puesto de manifiesto en otras regiones (Rivas et al., 2006), pueden ser bastante más significativas para la generación de sedimento.

Por otra parte, el valor de la densidad del PIB, que refleja la intensidad de las actividades humanas en un momento dado, no siempre refleja adecuadamente el nivel de las actividades pasadas. Esto se debe a que en general, y a partir de alcanzarse un cierto grado de desarrollo, existe una tendencia a un aparente equilibrio en la distribución de las actividades económicas en el territorio, que se traduce en una mayor tasa de aumento de la generación de riqueza en las regiones más rezagadas, respecto de las más avanzadas. Esta tendencia, que es particularmente visible a partir de la segunda mitad del siglo XX, se ha constatado en el análisis comparativo de distintas zonas estudiadas, donde el mayor o menor valor absoluto del PIB/km² al año 2011, no se corresponde con el valor de sus tendencias de aumento entre los distintos lapsos temporales. Dicho de otro modo, los valores absolutos de la densidad de PIB tienden a ser inversos a sus tasas de aumento, porque estas últimas tienden a crecer de forma cada vez más lenta.

Por ello, los análisis de correspondencia entre impulsores humanos y tasas de sedimentación, se han llevado a cabo utilizando tanto el valor absoluto del PIB en un momento dado, como su variación en el tiempo (especialmente en los últimos cincuenta años), dependiendo de las particulares características de las zonas de estudio en relación con su grado de desarrollo económico relativo.

En la figura Au.19 se muestra la evolución del PIB de Australia, que como en la gran mayoría de las regiones analizadas muestra un incremento marcado a partir de mitad del pasado siglo. La comparación entre PIB y tasas de sedimentación promedio para todos los puntos se presenta en la figura Au.20 a, y con los promedios de las tasas para puntos con tres datos en la figura Au.20 b. En ambos casos se observan tendencias similares, pero el grado de coincidencia es claramente mayor en el segundo. Los factores de aumento para ambos conjuntos de datos son sin embargo bastante distintos, de 10-12 en el caso de las tasas de sedimentación y de casi 47 para el PIB.

Tal como se ha encontrado en la gran mayoría de las regiones estudiadas, los resultados anteriores son coherentes con el modelo y sugieren una posible relación causa/efecto entre el aumento del PIB (indicador del aumento de las actividades humanas que modifican el territorio) y aumento de la generación/acumulación de sedimento. También como en otros casos, la magnitud del aumento del primero es bastante mayor que el de las segundas. Esto probablemente se debe al hecho de que ciertos componentes del PIB incluyen actividades (muchas manufacturas, sector terciario, etc.) que no afectan al territorio. Un análisis del PIB desglosado por sectores seguramente permitiría dilucidar este punto, pero eso no se ha podido realizar hasta ahora.

Cuando se consideran las relaciones, dentro de las cuatro grandes “cuencas” que se han diferenciado (figuras Au.21-24), la imagen es muy similar, con la única excepción de la “cuenca” N (figura Au.23). Evidentemente, el valor de la comparación, tanto en esta como en la “cuenca” S (figura Au.22), es mucho menor, por el reducido número de datos de tasas de sedimentación en las mismas. Las tendencias son muy similares en el conjunto del Arco Brisbane-Melbourne (figura Au.25) o de las áreas de influencia de las tres grandes aglomeraciones urbanas (Brisbane, Sydney, Melbourne, (figura Au.26). Sin embargo, el paralelismo disminuye de manera apreciable en las zonas de la Costa E fuera del Arco Brisbane-Melbourne (figura Au.27) o, dentro de dicho arco, fuera del área de influencia de las grandes ciudades (figura Au.28).

Dentro del muy limitado valor que tiene cualquier intento de correlación entre dos series de solamente tres datos cada una, conviene señalar que el R^2 es 0,27 - 0,39 en las tres excepciones citadas, y 0,79 - 0,99 en los demás casos. Esto es, la gran mayoría de las comparaciones realizadas muestran tendencias de variación similares para el PIB y las

tasas de sedimentación. Las tres excepciones reseñadas corresponden a zonas donde la influencia humana es menos acusada.

Por otro lado, se han comparado las tendencias observadas en las tasas de sedimentación con las tendencias en las precipitaciones presentadas por el IPCC (2007, 2013). En lo referente a Australia, las tendencias en la precipitación total anual muestran, para el periodo 1901-2010 y en la mayor parte del país, una tendencia al aumento de 0-5 mm/año por década (Fig. Au.29). En el periodo 1951-2010 (Fig. Au.30), hay una tendencia similar en la zona central y occidental del país, pero una tendencia a la disminución entre 0-25 mm/año por década en la costa E y la cuenca del Murray-Darling. Esto es, las tendencias son de sentido contrario en distintas zonas de Australia, a pesar de que el aumento en las tasas de sedimentación es prácticamente general (Figs. Au.31-34). Además, en el periodo en el que más han aumentado las tasas de sedimentación (Post-Segunda Guerra Mundial o DD), es precisamente cuando se observa una tendencia a la disminución de las precipitaciones anuales en las zonas en las que el aumento de las tasas está más claramente establecido, ya que son las que presentan, con diferencia, mayor número de datos. En lo que se refiere a la frecuencia de lluvias intensas (IPCC, 2013) se señala que, en esta, como en la mayor parte de las regiones del mundo, la tendencia es poco clara, y que el grado de confianza con respecto a las variaciones producidas en el último siglo es bajo-medio.

En resumen, sobre la base de los datos existentes para este país/continente y a pesar de las incertidumbres que todavía existen sobre los mismos, se puede concluir que las tasas de sedimentación han experimentado un aumento bastante generalizado, sobre todo en el último medio siglo, y que dicho aumento guarda un paralelismo bastante marcado con la variación del PIB, que es un indicador de la intensidad de la modificación de la superficie terrestre por acción humana. Por el contrario, las tendencias de variación de las tasas de sedimentación y de las precipitaciones no muestran indicios de correspondencia.

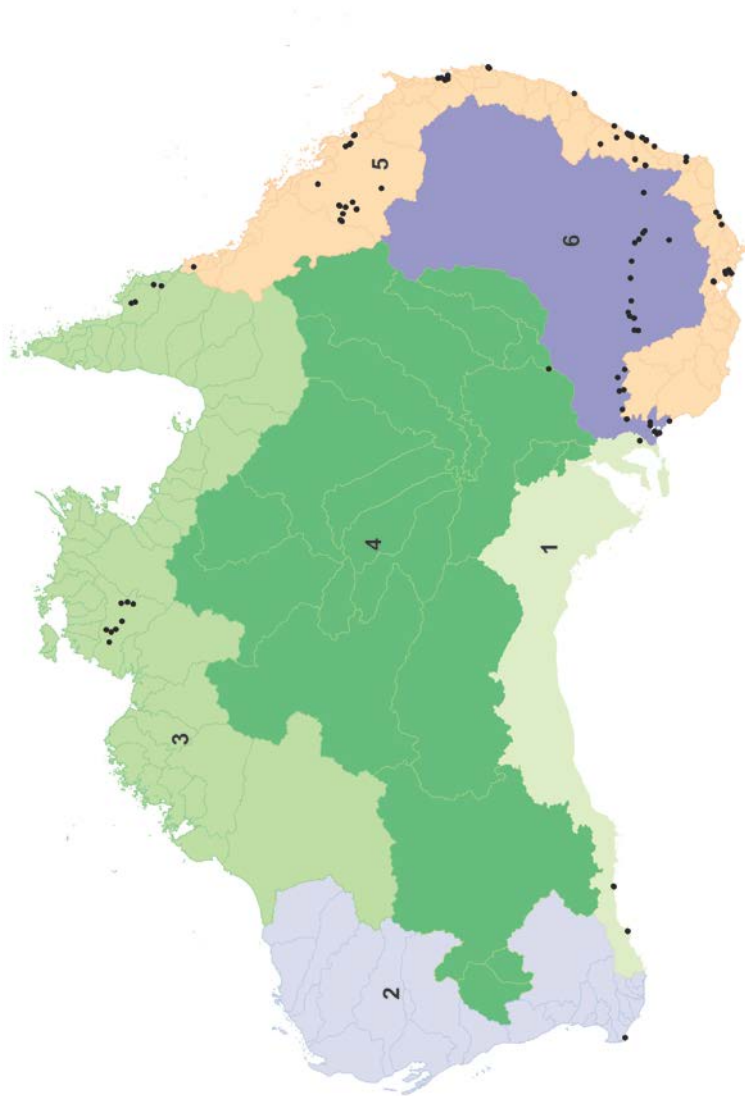


Figura Au.0. Ubicación de los puntos con datos. 1) Gran Cuenca de la Costa Sur; 2) Gran Cuenca de la Costa Oeste; 3) Gran Cuenca de la Costa Norte; 4) Gran Cuenca Central; 5) Gran Cuenca de la Costa Este; 6) Cuenca de los ríos Murray-Darling

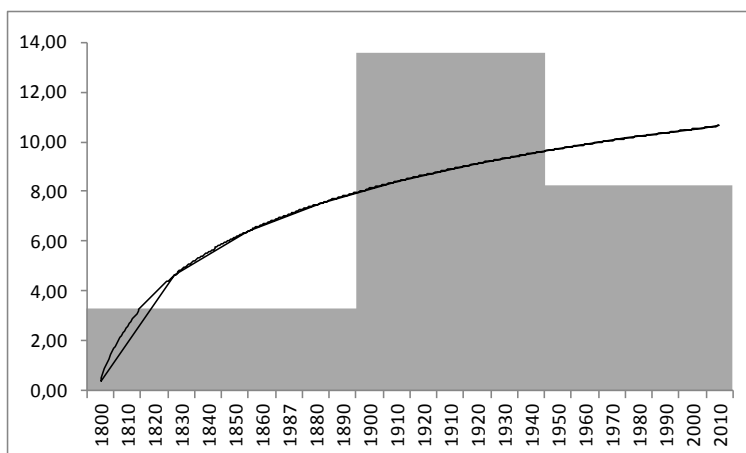


Figura Au.2 a. Depósitos en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 4,12; CC-DD: 0,61; AA-DD: 2,51

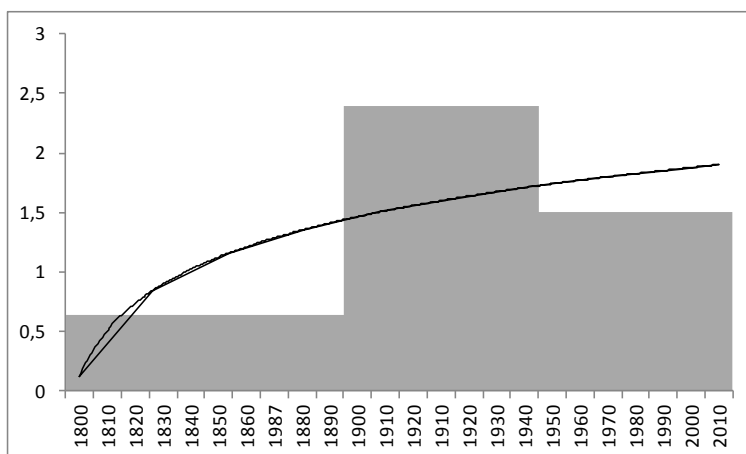


Figura Au.2 b. Depósitos en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,79; CC-DD: 0,63; AA-DD: 2,37

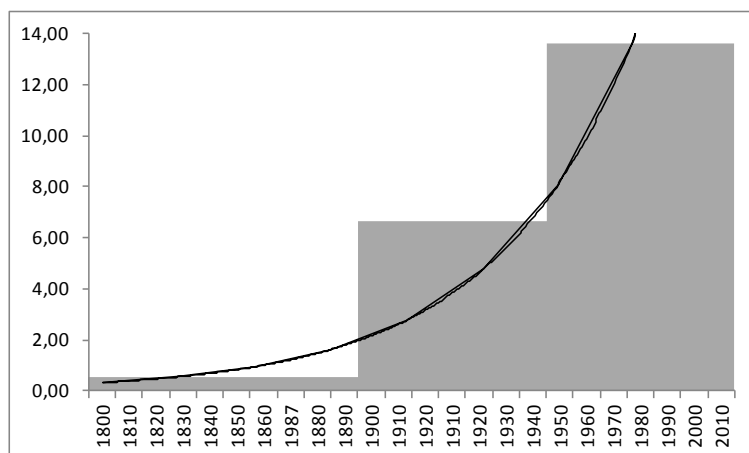


Figura Au.3 a. Humedales y lagunas en llanuras de inundación. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 12,49; CC-DD: 2,04; AA-DD: 25,51

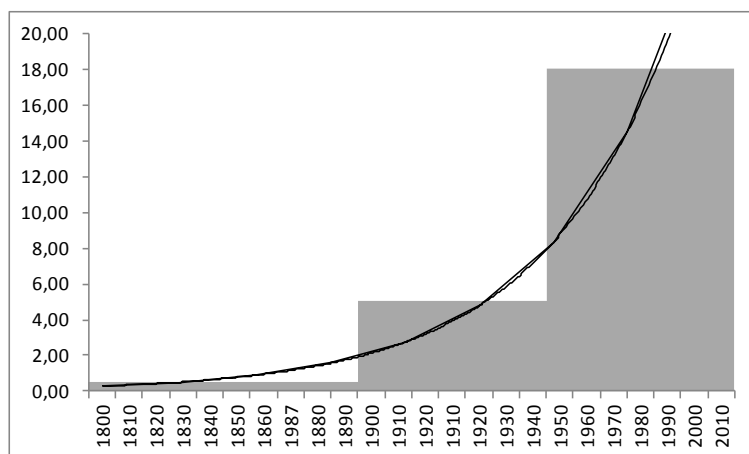


Figura Au.3 b. Humedales y lagunas en llanuras de inundación. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 9,48; CC-DD: 3,56; AA-DD: 33,80

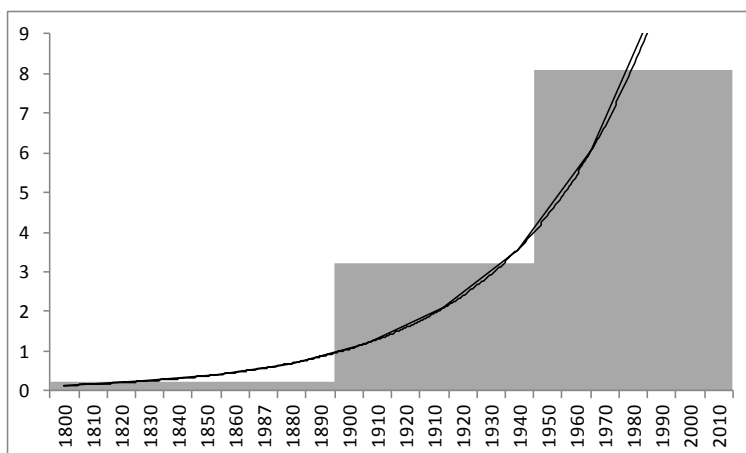


Figura Au.4 a. Bahías y Estuarios. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 13,22; CC-DD: 2,53; AA-DD: 33,40

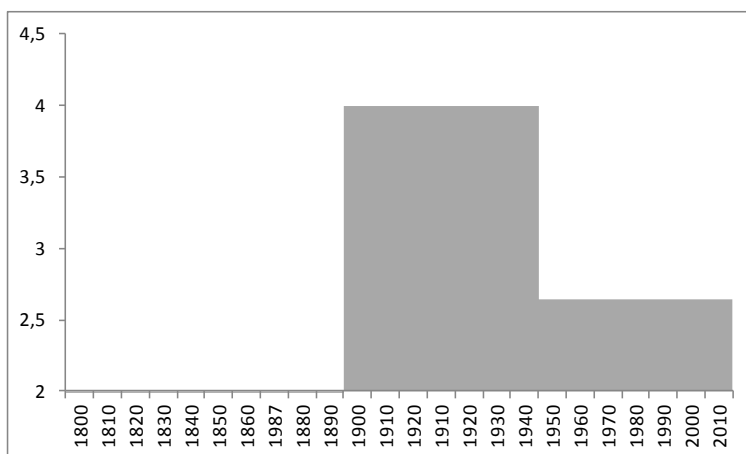


Figura Au.4 b. Bahías y Estuarios. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 400; CC-DD: 0,66; AA-DD: 264

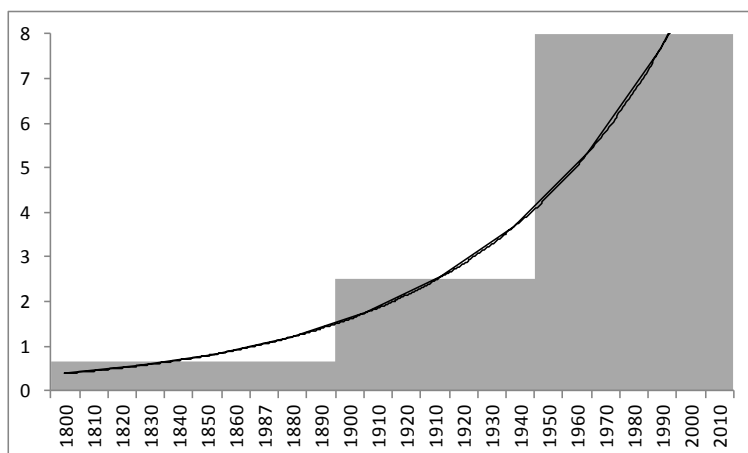


Figura Au.5 a. Albuferas y Lagunas Costeras. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,88; CC-DD: 3,20; AA-DD: 12,40.

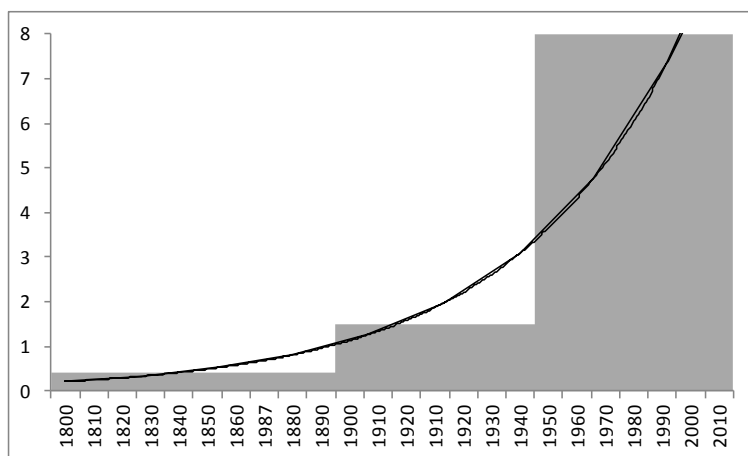


Figura Au.5 b. Albuferas y Lagunas Costeras Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,65; CC-DD: 5,56; AA-DD: 20,28.

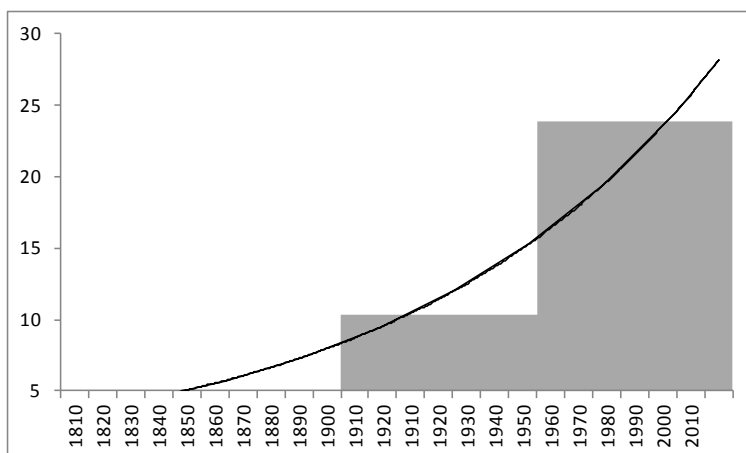


Figura Au.6 a. Depósitos en planicies de inundación. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 2,37.

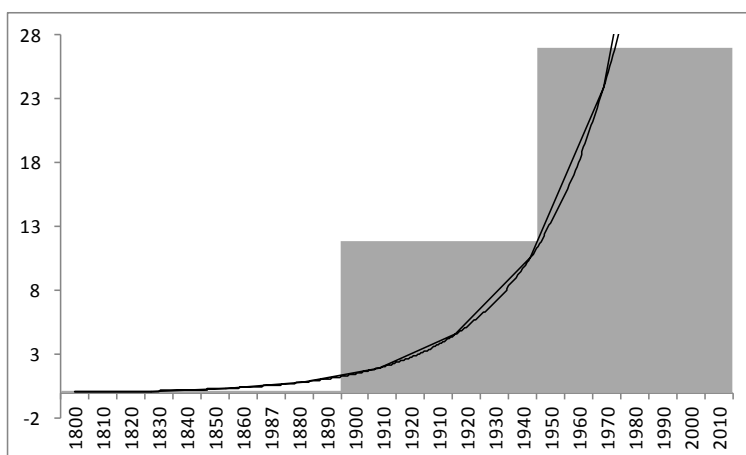


Figura Au.7 a. Depósitos de cauces fluviales. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 88,64; CC-DD: 2,16; AA-DD: 191,34.

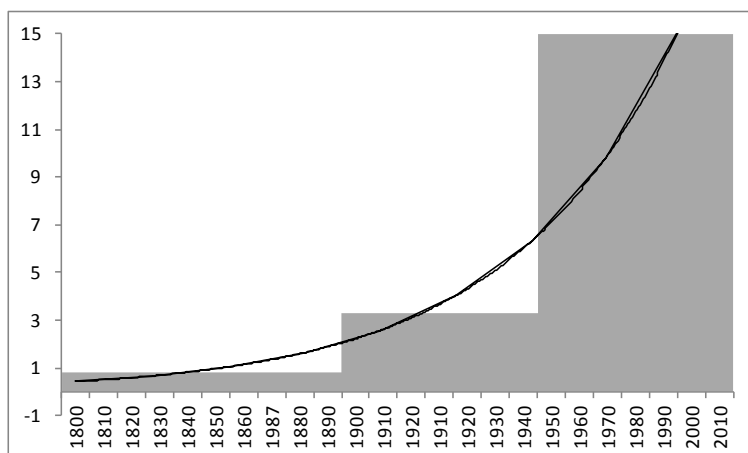


Figura Au.8 a. Deltas. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 4,14; CC-DD: 4,71; AA-DD: 19,49.

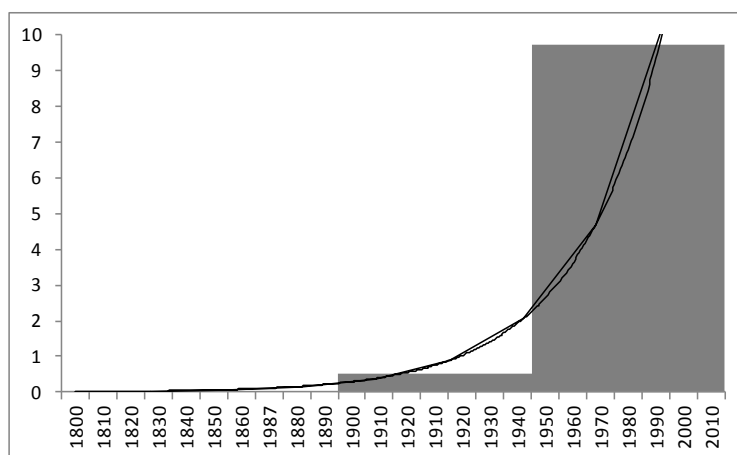


Figura Au.9 a. Cuenca de la Costa Sur. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; CC-DD: 18,51

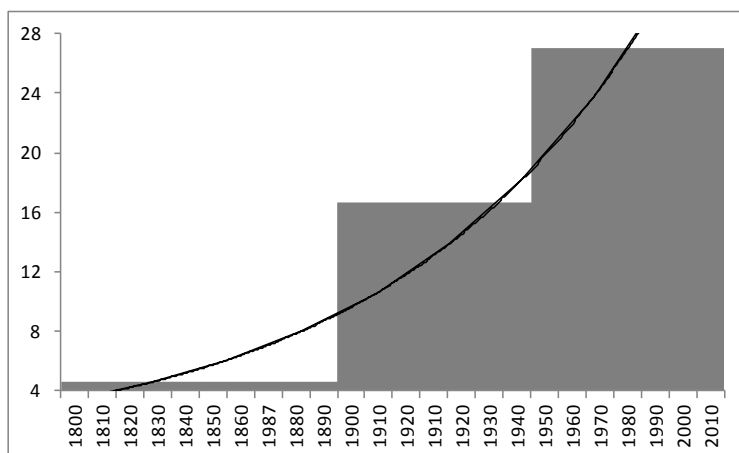


Figura Au.10 a. Cuenca de la Costa Norte. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,61; CC-DD: 1,62; AA-DD: 5,85

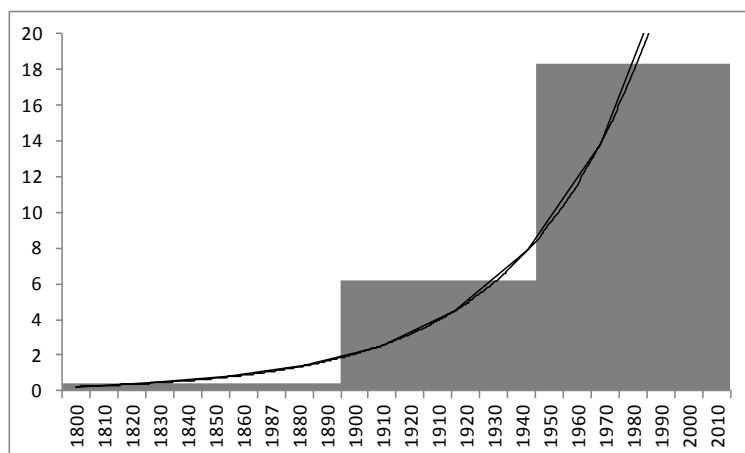


Figura Au.11 a. Cuenca del Murray-Darling. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 13,63; CC-DD: 2,98; AA-DD: 40,64.

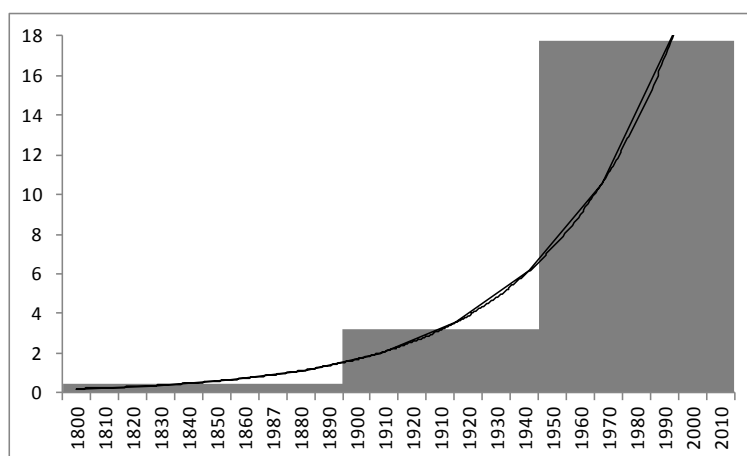


Figura Au.11 b. Cuenca del Murray-Darling. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 7,25; CC-DD: 5,53; AA-DD: 40,03.

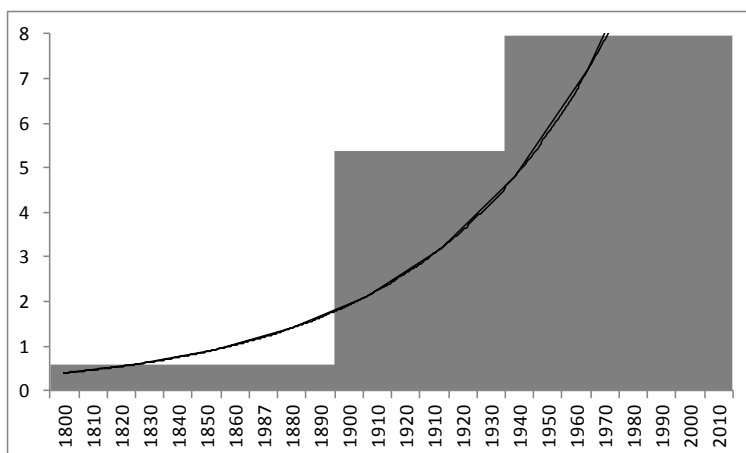


Figura Au.12 a. Cuenca Este. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 9,18; CC-DD: 1,47; AA-DD: 13,55

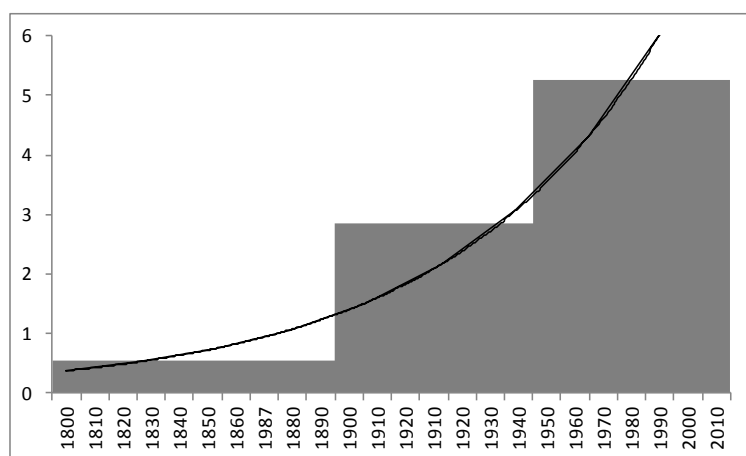


Figura Au.12 b. Cuenca Este. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 5,24; CC-DD: 1,84; AA-DD: 9,66

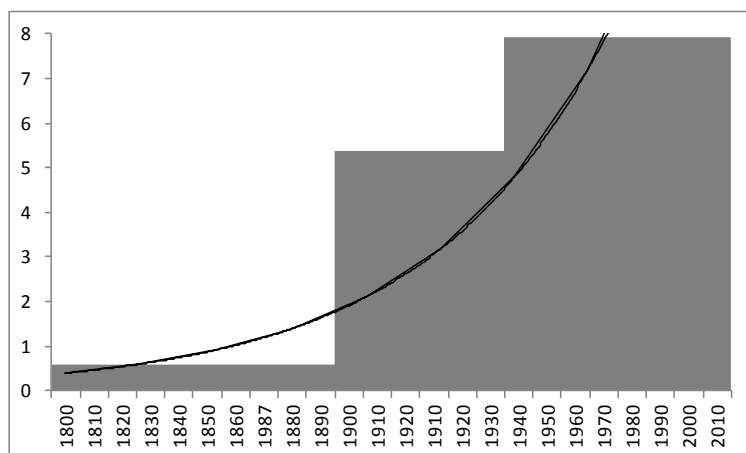


Figura Au.13 a. Cuenca Este (Arco Brisbane-Melbourne). Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 9,23; CC-DD: 1,48; AA-DD: 13,66

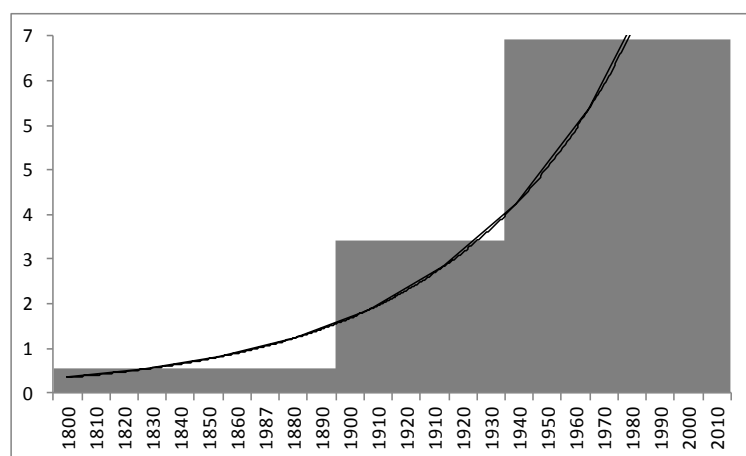


Figura Au.13 b. Cuenca Este (Arco Brisbane-Melbourne). Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 6,16; CC-DD: 2,32; AA-DD: 14,28

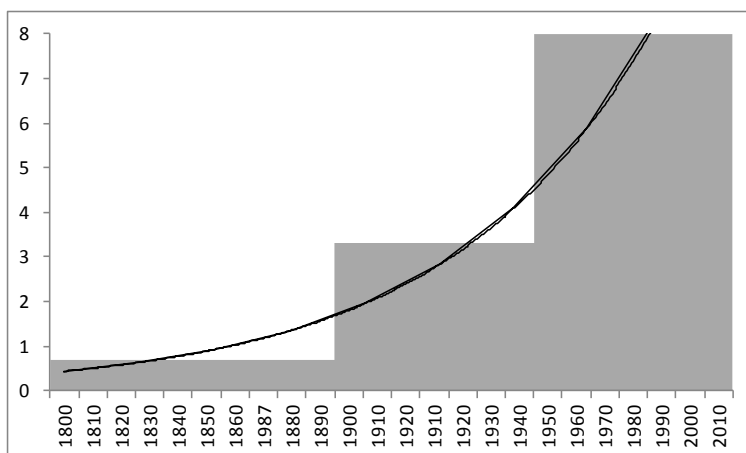


Figura Au.14 a. Cuenca de la Costa Este, Arco Brisbane-Melbourne (zona de influencia de los centros urbano industriales de Brisbane-Sydney-Melbourne). Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 4,82; CC-DD: 2,41; AA-DD: 11,60

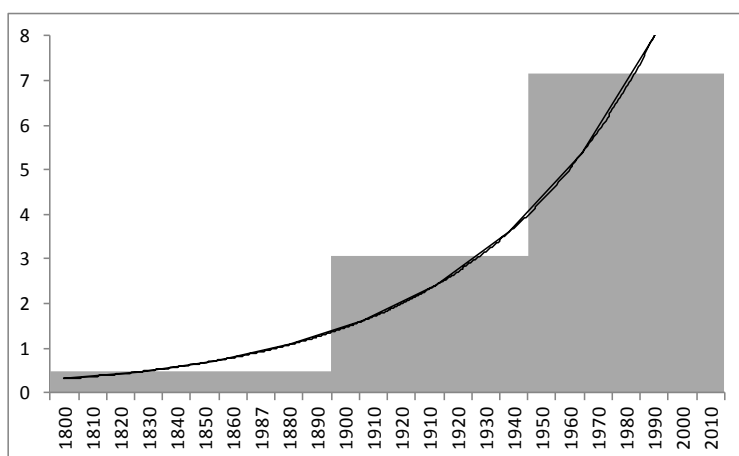


Figura Au.14 b. Cuenca de la Costa Este, Arco Brisbane-Melbourne (zona de influencia de los centros urbano industriales de Brisbane-Sydney-Melbourne). Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 6,16; CC-DD: 2,32; AA-DD: 14,28

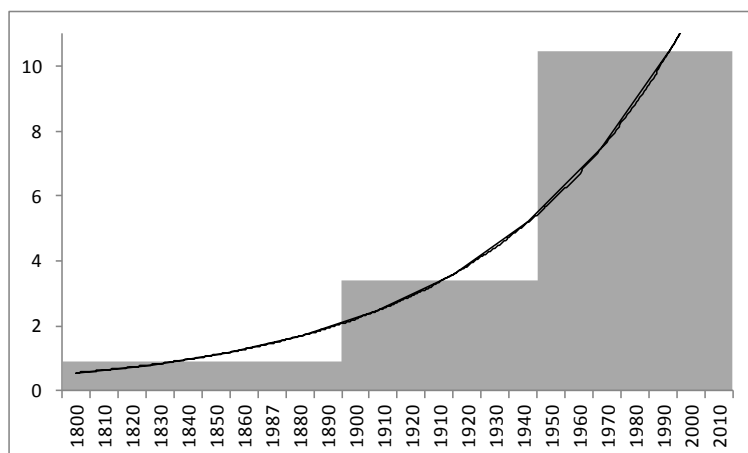


Figura Au.15 a. Cuenca de la Costa Este, Arco Brisbane-Melbourne (Lago Illawarra). Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,70; CC-DD: 3,09; AA-DD: 11,46

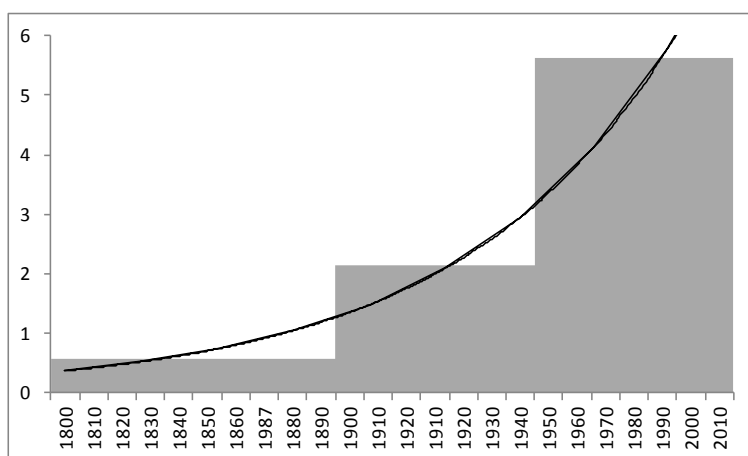


Figura Au.15 b. Cuenca de la Costa Este, Arco Brisbane-Melbourne (Lago Illawarra). Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,73; CC-DD: 2,63; AA-DD: 9,78

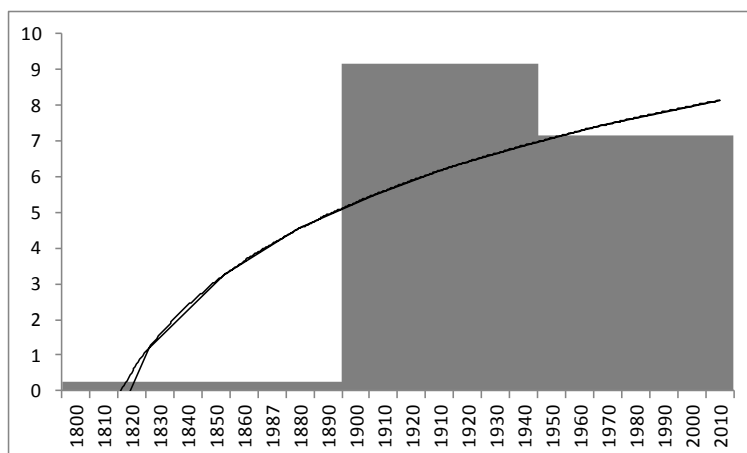


Figura Au.16 a. Cuenca de la Costa Este, (resto del Arco Brisbane-Melbourne). Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 35,74; CC-DD: 0,78; AA-DD: 27,94.

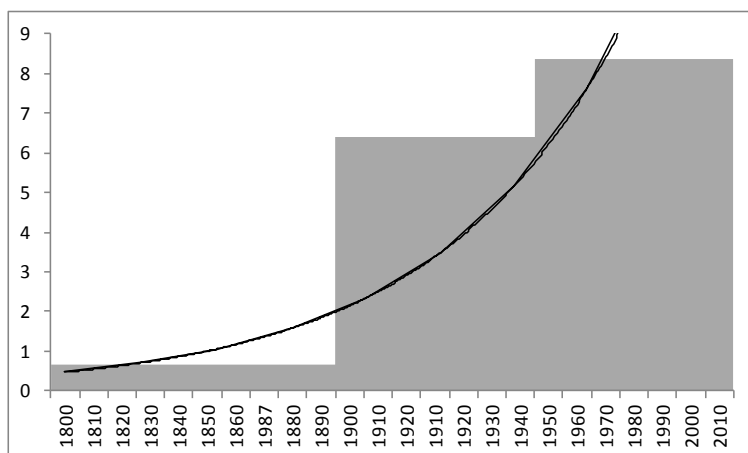


Figura Au.17 a. Cuenca de la Costa Este (zona fuera del Arco Brisbane-Melbourne). Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 9,69; CC-DD: 1,30; AA-DD: 12,61

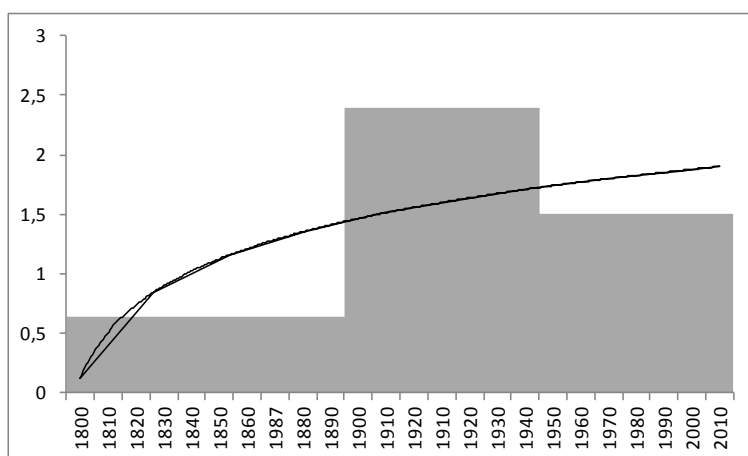


Figura Au.17 b. Cuenca de la Costa Este (zona fuera del Arco Brisbane-Melbourne). Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 3,79; CC-DD: 0,63; AA-DD: 2,37

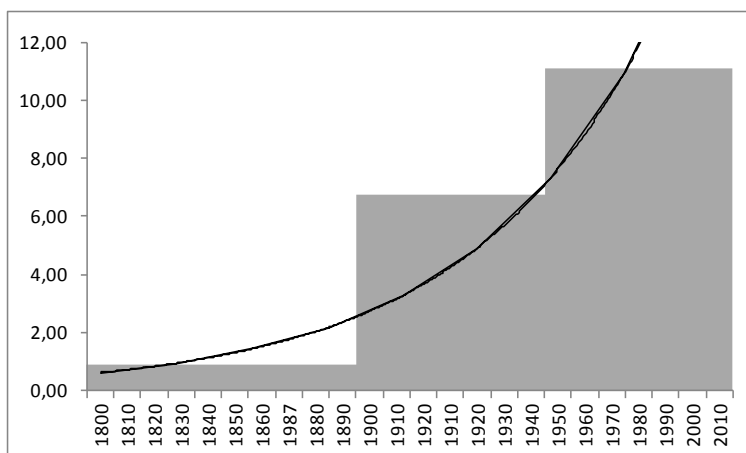


Figura Au.18 a. Australia. Tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 7,26; CC-DD: 1,65; AA-DD: 11,97

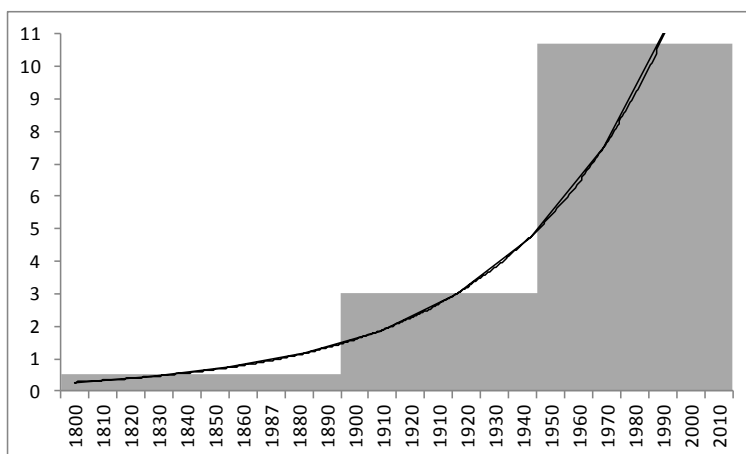


Figura Au.18 b. Australia. Tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año). Factores de aumento; AA-CC: 6,02; CC-DD: 3,56; AA-DD: 21,43

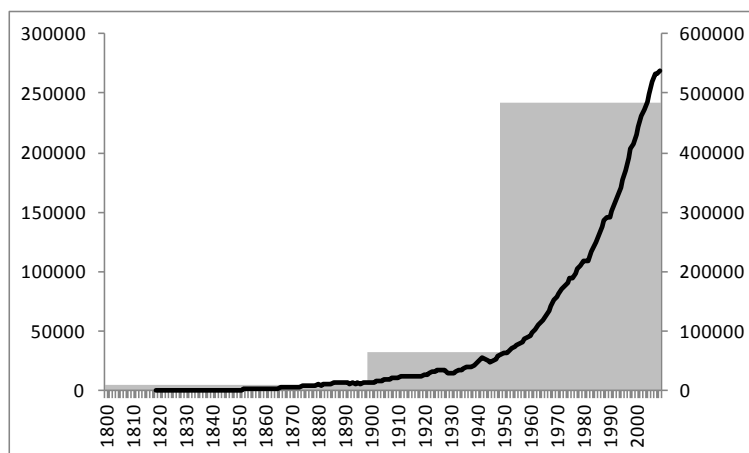


Figura Au.19. Australia. Evolución del PIB (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Valores absolutos (escala derecha) y promedio de cada uno de los lapsos temporales (escala izquierda). Factores de aumento: AA-CC: 6,26; CC-DD: 7,49; AA-DD: 46,93.

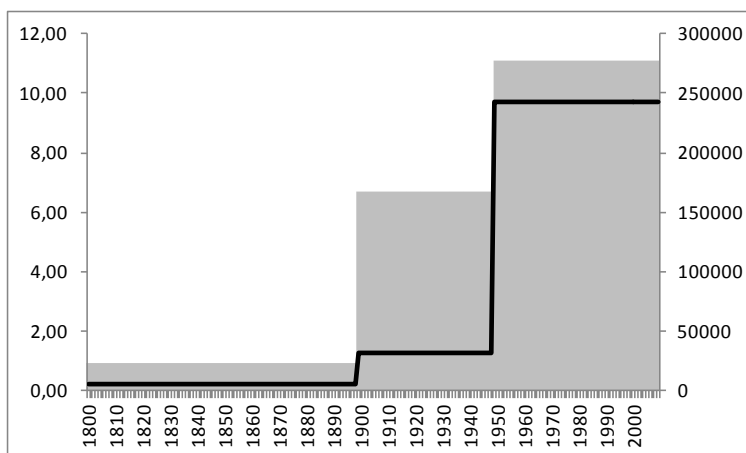


Figura Au.20 a. Australia. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: Evolución del PIB

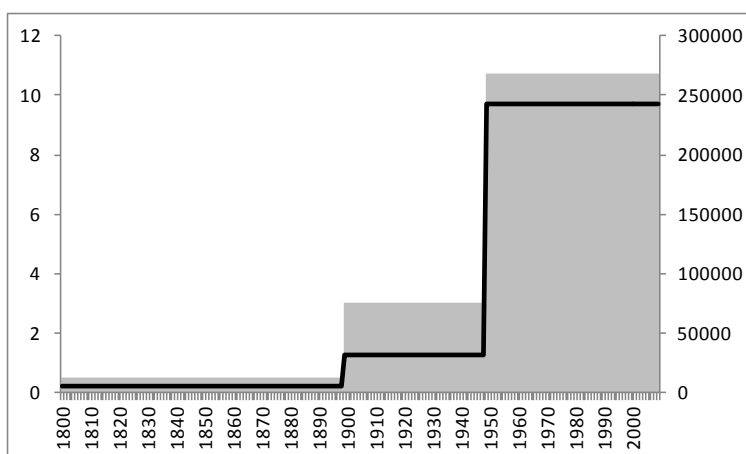


Figura Au.20 b. Australia. Comparación de la evolución del PIB (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990, escala derecha) y tasas medias de sedimentación de los puntos con datos para los tres lapsos temporales (mm/año, escala izquierda). Sólido: Tasas medias de sedimentación; Línea llena: PIB.

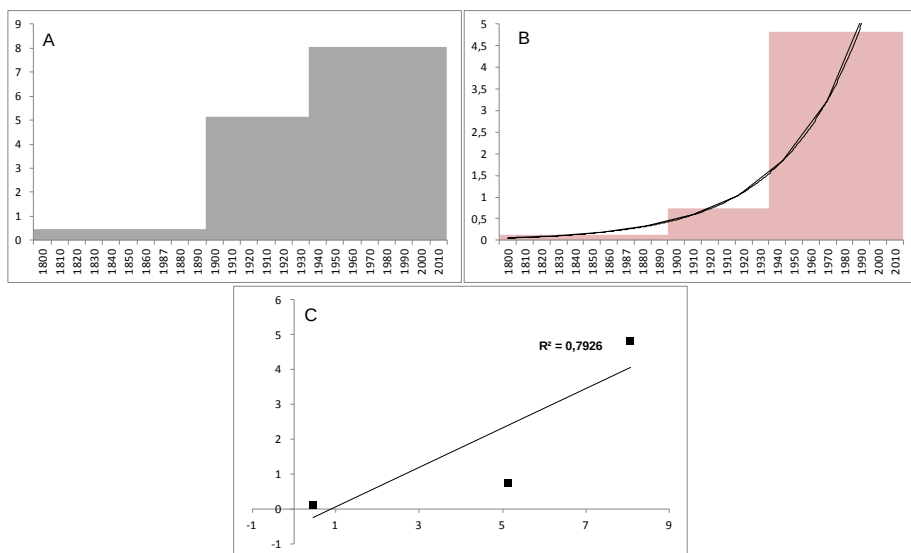


Figura Au.21. Cuenca Este. Variación temporal de PIB/km² y tasas medias de sedimentación. A) Tasas de sedimentación (mm/año). B) PIB/km² (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990). C) Gráfica de correlación.

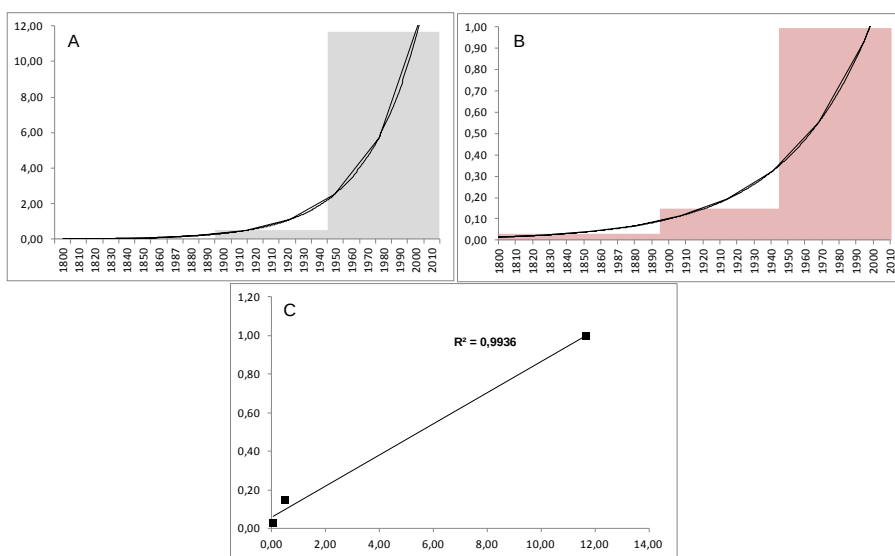


Figura Au.22. Cuenca Sur. Variación temporal de PIB/km² y tasas medias de sedimentación. A) Tasas de sedimentación (mm/año). B) PIB/km² (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990). C) Gráfica de correlación.

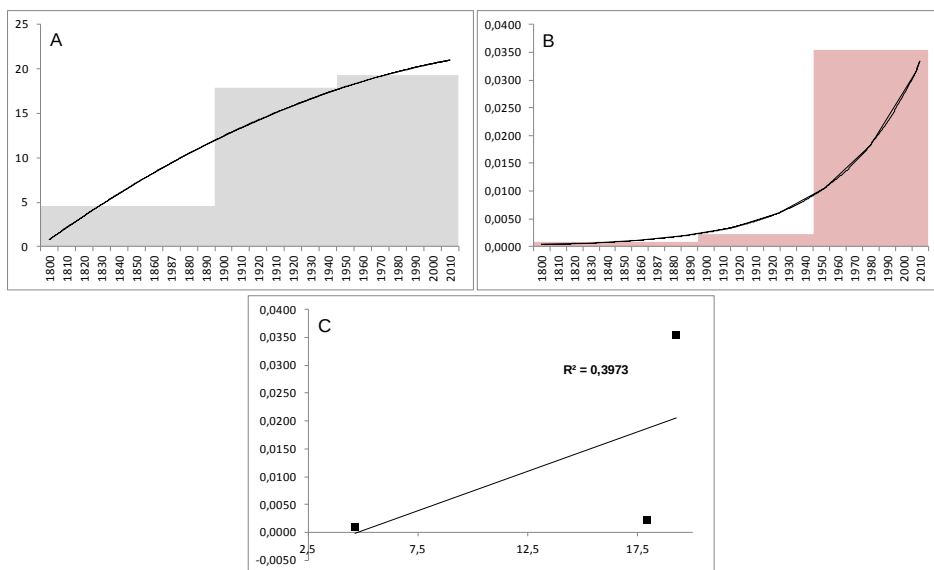


Figura Au.23. Cuenca Norte. Variación temporal de PIB/km² y tasas medias de sedimentación. A) Tasas de sedimentación (mm/año). B) PIB/km² (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990). C) Gráfica de correlación.

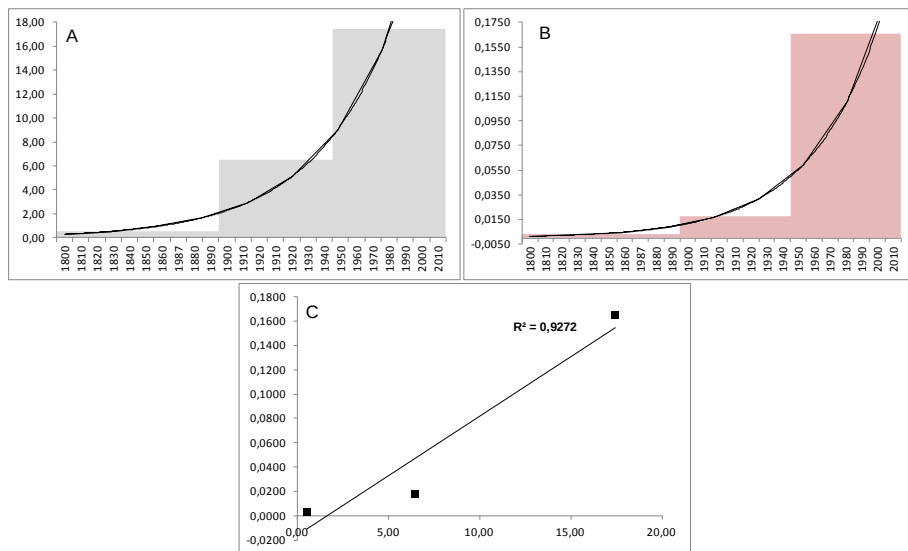


Figura Au.24. Cuenca del Murray-Darling. Variación temporal de PIB/km² y tasas medias de sedimentación. A) Tasas de sedimentación (mm/año). B) PIB/km² (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990). C) Gráfica de correlación.

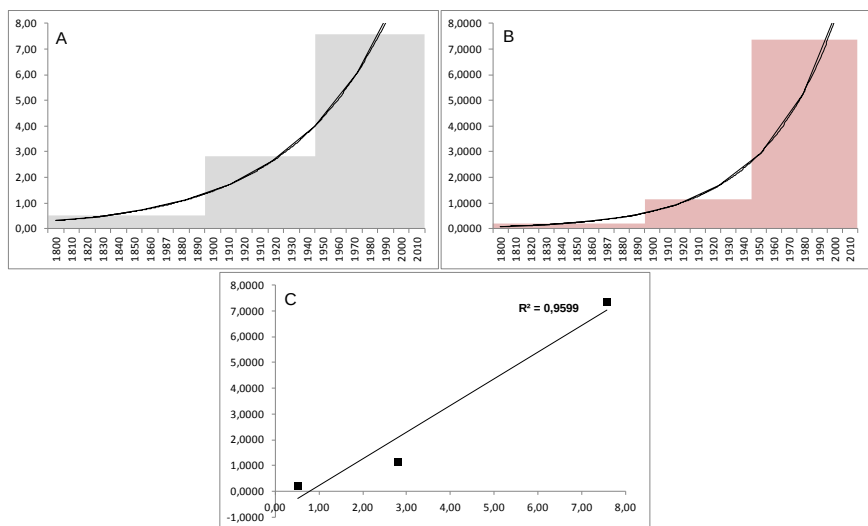


Figura Au.25. Cuenca Este; Arco Brisbane-Melbourne. Variación temporal de PIB/km² y tasas medias de sedimentación. A) Tasas de sedimentación (mm/año). B) PIB/km² (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990). C) Gráfica de correlación.

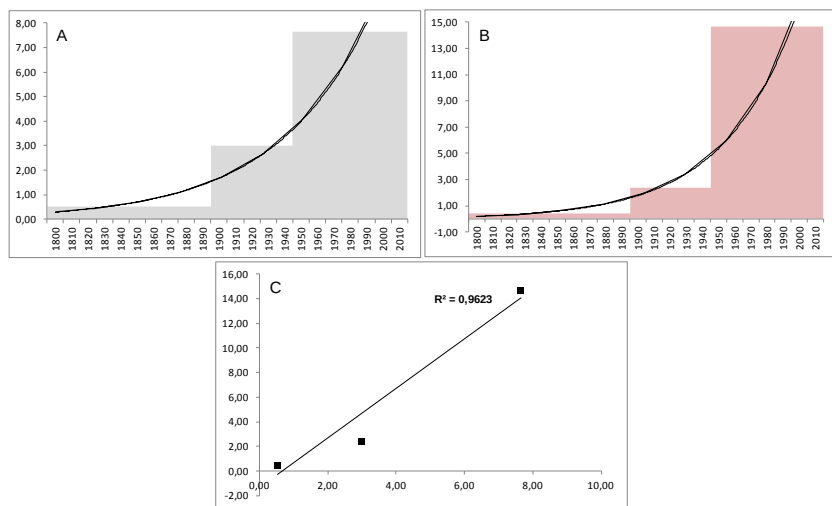


Figura Au.26. Cuenca Este; Arco Brisbane-Melbourne; Zona de influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne. Variación temporal de PIB/km² y tasas medias de sedimentación. A) Tasas de sedimentación (mm/año). B) PIB/km² (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990). C) Gráfica de correlación.

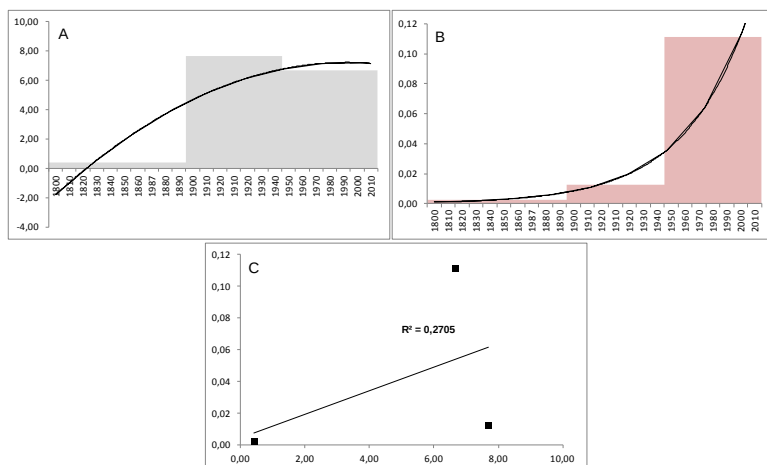


Figura Au.27. Cuenca Este; Zona ubicada fuera del Arco Brisbane-Melbourne. Variación temporal de PIB/km² y tasas medias de sedimentación. A) Tasas de sedimentación (mm/año). B) PIB/km² (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990). C) Gráfica de correlación.

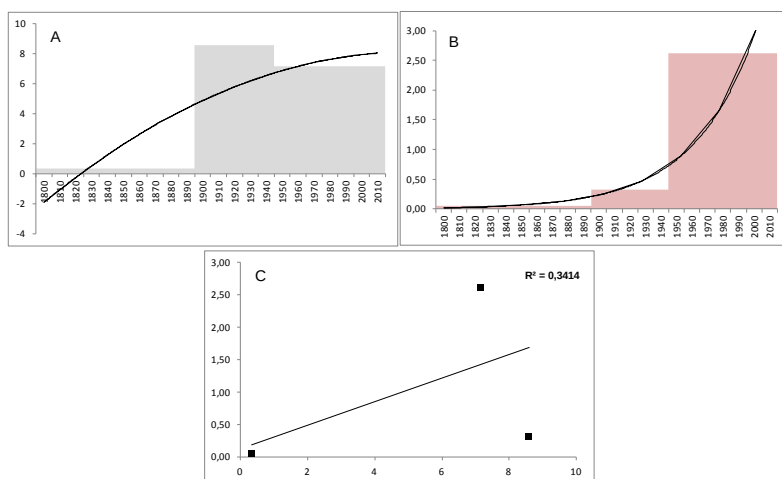


Figura Au.28. Cuenca Este, zona dentro del Arco Brisbane-Melbourne fuera de la influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne. Variación temporal de PIB/km² y tasas medias de sedimentación. A) Tasas de sedimentación (mm/año). B) PIB/km² (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990). C) Gráfica de correlación.

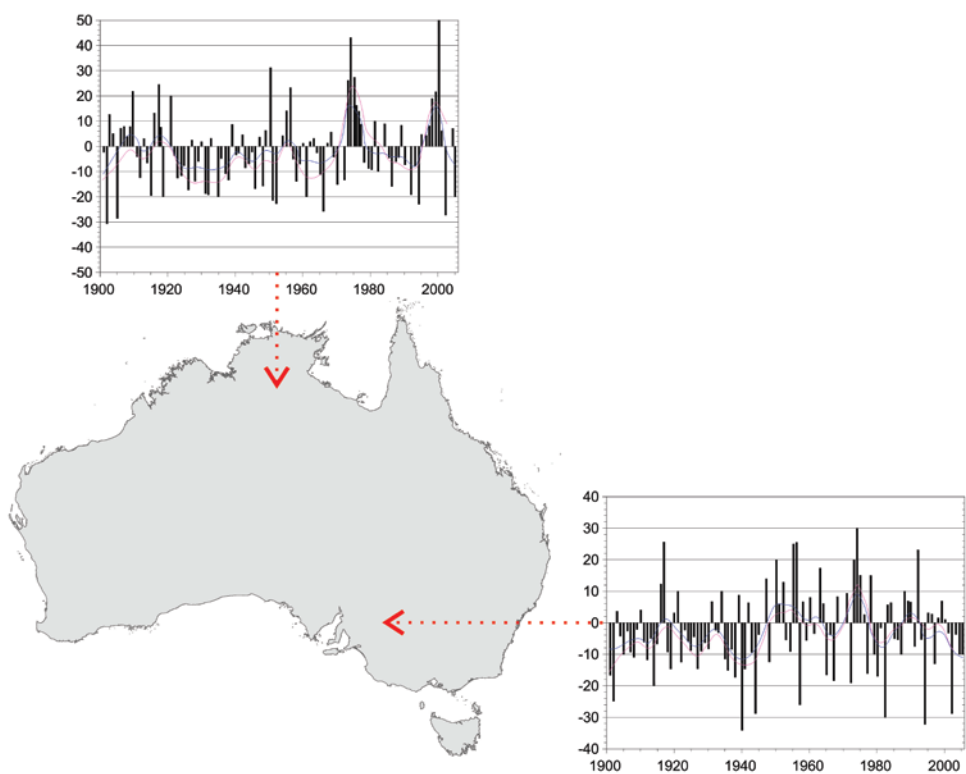


Figura Au.29. Desvíos sobre la precipitación media anual (en %) 1900-2005, en el Norte y Sur de Australia. IPCC (2007).

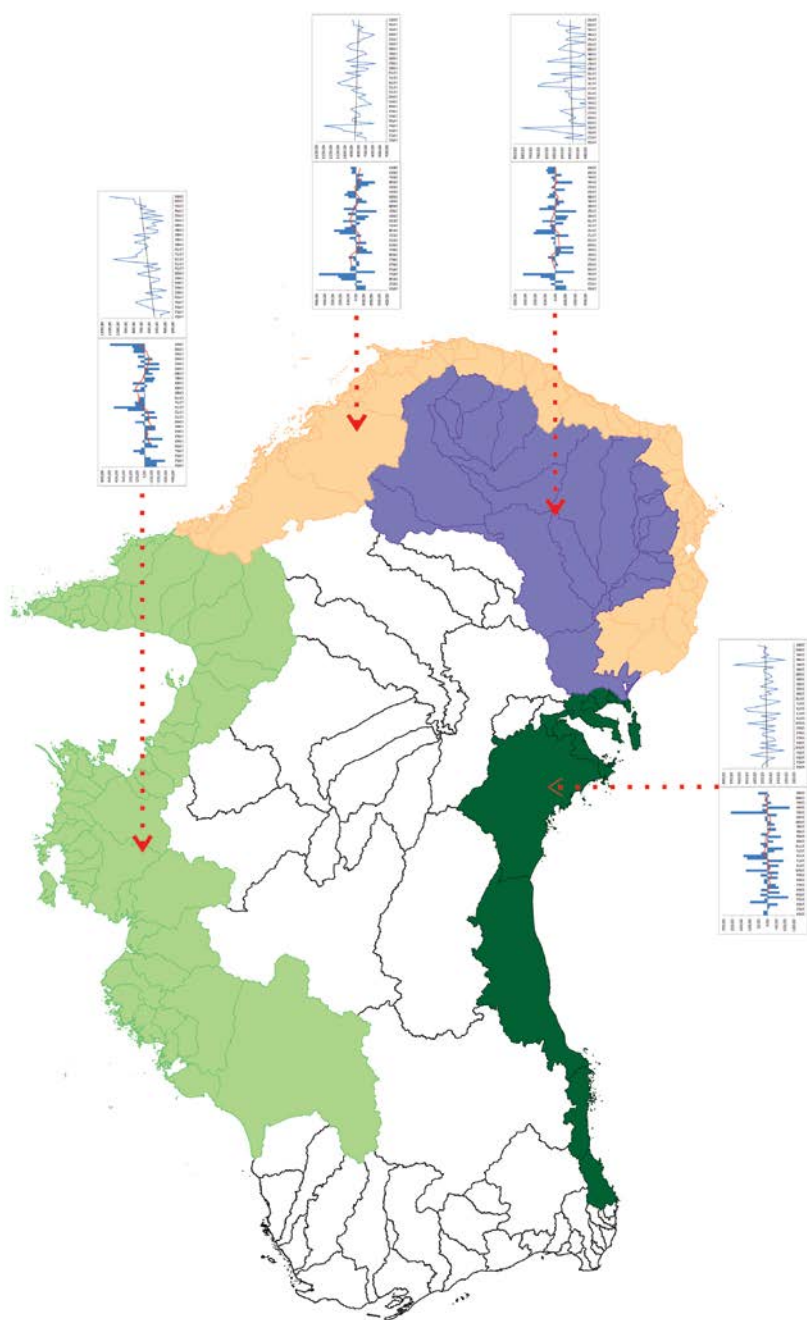


Figura Au.30. Australia. Precipitación total anual y desvíos sobre la precipitación media anual (mm) 1950-2000, en las Cuencas Norte, Este, del Murray-Darling y Sur, correspondientes a las Figuras P.Au3-6.

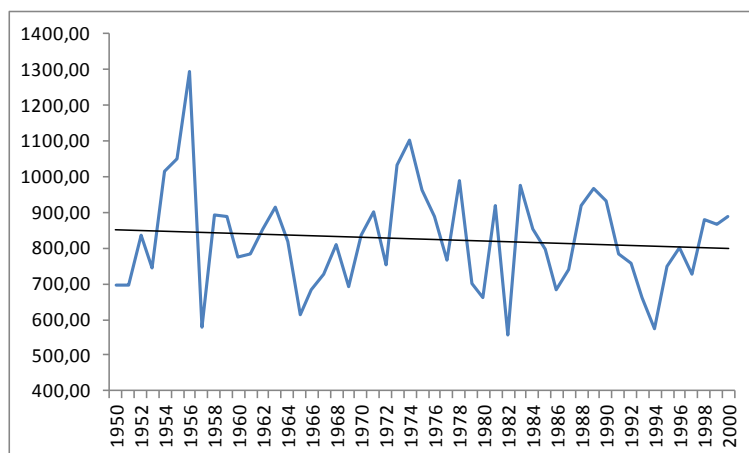


Figura Au.31 a. Australia, Cuenca Este. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

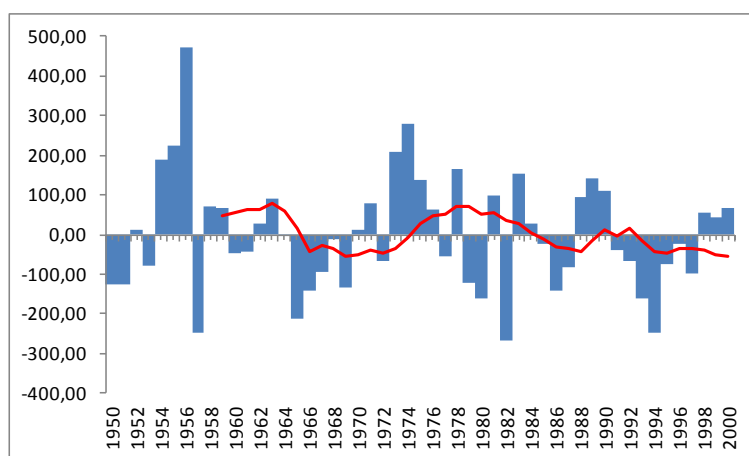


Figura Au.31 b. Australia, Cuenca Este. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

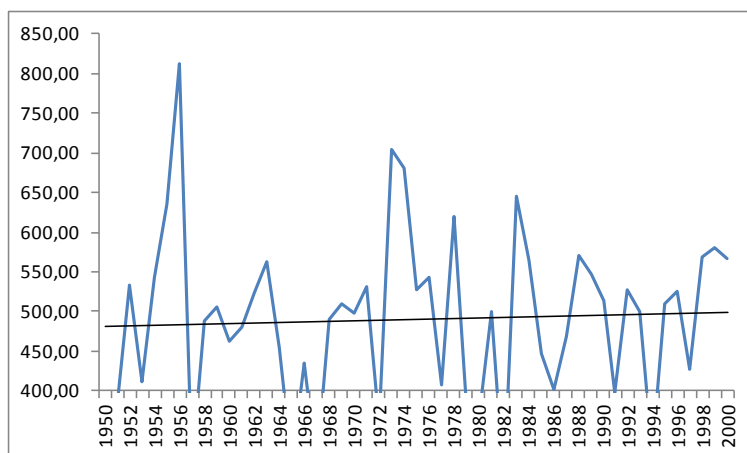


Figura Au.32 a. Australia, Cuenca del Murray-Darling. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

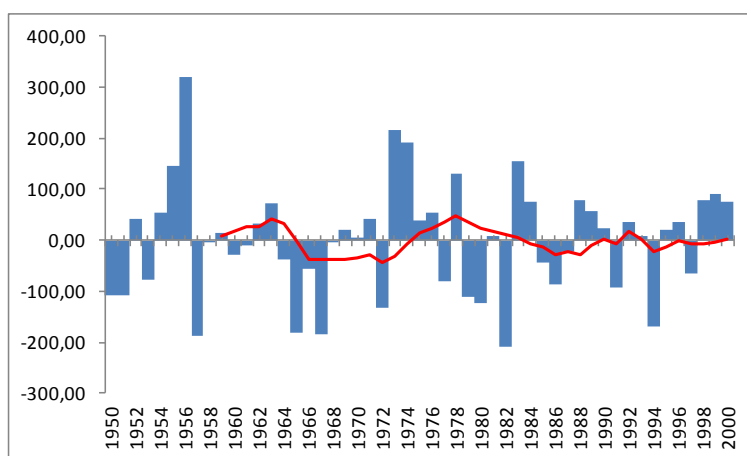


Figura Au.32 b. Australia, Cuenca Cuenca del Murray-Darling. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

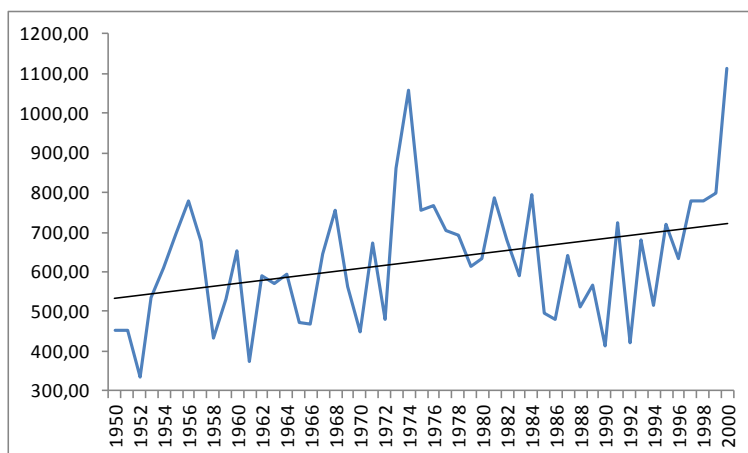


Figura Au.33 a. Australia, Cuenca Norte. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

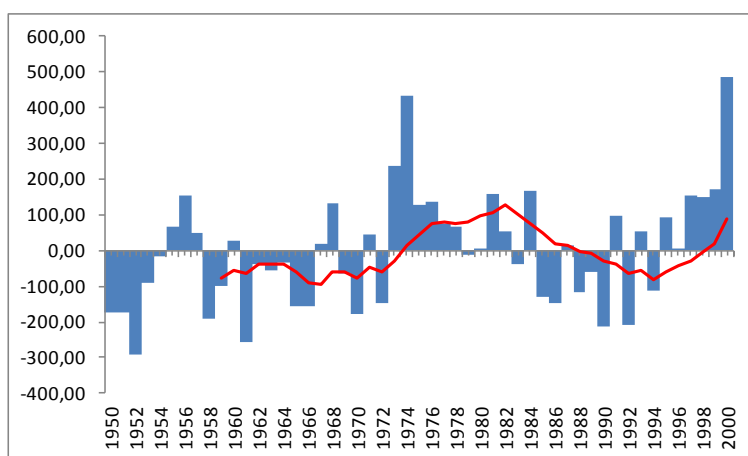


Figura Au.33 b. Australia, Cuenca Norte. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

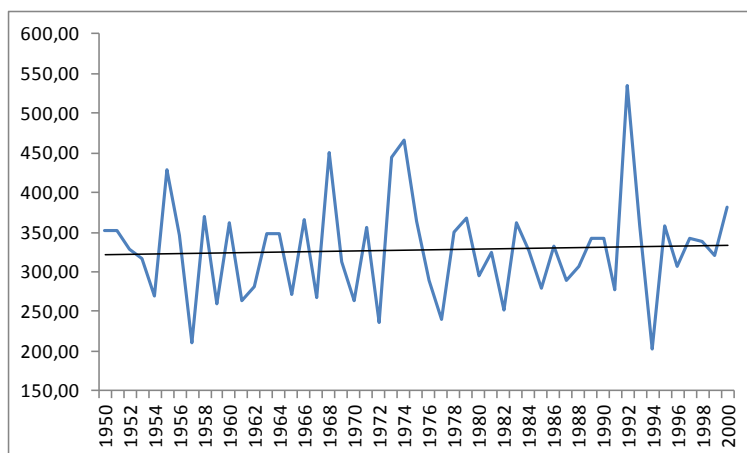


Figura Au.34 a. Australia, Cuenca Sur. Precipitación total anual 1950-2000 (mm/año).

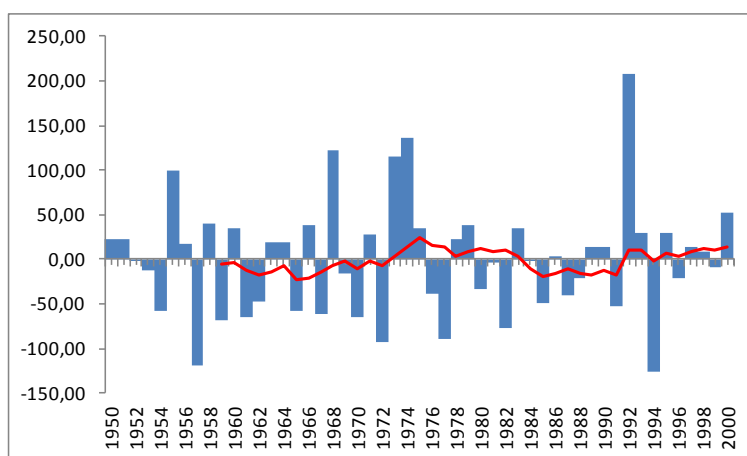


Figura Au.34 b. Australia, Cuenca Sur. Desvíos sobre la precipitación media anual 1950-2000 (mm/año).

3.2.7. Resumen de la síntesis a partir de la literatura.

Para obtener una imagen del conjunto de las zonas analizadas, en las Tablas RSL.1-10 se resumen los resultados obtenidos en cada una de ellas. No se incluyen aquí los resultados sobre el N de España, con mejor resolución temporal y de naturaleza diferente a los demás, que se comentan junto con los datos obtenidos a través de las determinaciones de tasas de sedimentación.

De un total de 72 conjuntos de datos analizados a partir de la literatura incluyendo 37 ambientes y 35 unidades geográficas (naturales o administrativas) solamente hay 6 en los que el promedio de las tasas de sedimentación en el periodo DD (posterior a la Segunda Guerra Mundial), resulte menor que el del periodo CC (aprox. 1900-1950). Australia: planicies de inundación y bahías-estuarios, así como las partes de la costa E no incluidas en los entornos de los grandes centros urbanos. Estados Unidos: planicies de inundación y entorno de la desembocadura del Mississippi. China: canales fluviales. Entre estos conjuntos, solamente en tres casos se da esa circunstancia cuando se consideran los puntos que tienen datos para los tres lapsos cronológicos considerados en el análisis. Entre los 6 conjuntos anteriores, uno (canales fluviales en China) cuenta solamente con dos puntos, ninguno de los cuales tiene datos para los tres periodos considerados. Los dos de Estados Unidos probablemente corresponden a los efectos del “Dust Bowl” y medidas posteriores, como se ha comentado en el capítulo sobre ese país. Solamente en un caso (planicies de inundación en USA, cuando se consideran solamente los puntos con tres datos temporales) se ha encontrado un factor de aumento para el periodo AA-DD que sea < 1 ; esto es, que las tasas de sedimentación en el periodo DD hayan sido inferiores a las del periodo AA (anterior a 1900).

Además, tal como se resume en las Tablas RSL.1-10, dentro del aumento general de las tasas de sedimentación, se observa que en la mayoría de los casos hay una aceleración de las mismas en el último periodo; esto es, las tasas aumentaron de manera más acusada desde 1950 (periodo CC-DD) que entre 1900 y 1950 (periodo AA-CC). Si se consideran solamente los puntos para los cuales hay tres datos temporales (en principio, más adecuados para caracterizar las tendencias durante todo el periodo cubierto), se encuentran dos tipos de situaciones. En 31 casos la aceleración es geométrica ($\text{Factor de aumento CC-DD} > \text{Factor de aumento AA-CC}$). En otros 12 casos la aceleración es aritmética [$\text{Tasa promedio DD} - \text{Tasa promedio CC} > (\text{Tasa promedio CC} - \text{Tasa$

promedio AA)]. Solamente 9 de los 72 conjuntos no presentan aceleración. En el resto, no hay datos suficientes para establecer las diferencias.

El predominio de la aceleración se mantiene también, con ligeras diferencias, si se toman todos los puntos (menos adecuados para caracterizar la evolución durante todo el periodo cubierto). En este caso hay 45 conjuntos que muestran aceleración (geométrica o aritmética) y 15 que no la presentan.

Cuando se analizan los resultados para todos los países analizados (desglosando Europa en países o grupos de países, Tabla RSL.11 y figuras RSL.1 y 2), se aprecia la misma tendencia. La aceleración de las tasas de sedimentación con el tiempo es la tónica general, con una única excepción si se consideran los puntos con tres datos (Italia, para la que se cuenta con solo un punto con tres datos). Las excepciones son dos si se consideran todos los puntos (India y Australia).

Por tanto, los resultados obtenidos a partir de la recopilación de datos de la literatura, ofrecen pocas dudas sobre el aumento generalizado de la intensidad de los procesos de erosión/sedimentación a lo largo del último siglo o siglo y medio, en muy diversos tipos de ambientes de sedimentación y áreas geográficas. Y, también, que las tasas de sedimentación no solo han aumentado a partir de mitad del siglo XX, sino que lo han hecho de forma acelerada.

Ambas tendencias de evolución temporal, tal como se ha comentado al analizar las distintas áreas geográficas, muestran en la gran mayoría de los casos una apreciable similitud con las tendencias de variación del PBI, pero muy poca con la de las precipitaciones. Esto apoya la idea de que la variación experimentada a lo largo del tiempo por los procesos de erosión/sedimentación se debe sobre todo al incremento de las actividades humanas transformadoras del territorio, y en mucha menor medida a cambios en el clima.

Tabla RSL.1. Resumen de los resultados obtenidos para los distintos ambientes estudiados en China.

TIPO DE AMBIENTE	Factor de aumento tasas medias de sedimentación						Aceleración	
	(1)			(2)			Post 1950	
	AA-CC	CC-DD	AA-DD	AA-CC	CC-DD	AA-DD	(1)	(2)
Lagos y depresiones kársticas inundables	2,33	2,05	4,76	1,70	1,98	3,37	A	SI
Lagos y depresiones no controlados por dinámica de grandes ríos	1,86	2,86	5,33	1,56	2,11	3,29	SI	SI
Lagos y depresiones controlados por dinámica de grandes ríos	2,22	1,26	2,81	1,74	1,97	3,42	NO	SI
Humedales y pantanos en planicies de inundación	1,49	1,82	2,71	1,55	2,15	3,33	SI	SI
Reservorios	-	-	9,19	-	-	-	-	-
Depósitos en Planicies de Inundación	3,58	27,28	97,53	3,58	3,22	11,50	SI	A
Depósitos en Canales Fluviales	2,67	0,69	1,84	-	-	-	NO	-
Deltas, prodelas, ambientes estuáricos y costas adyacentes a la boca de grandes ríos	4,54	2,46	11,18	1,20	3,59	4,30	A	SI
Depósitos fangosos en plataforma	-	4,33	-	-	-	-	-	-

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

Tabla RSL.2. Resumen de los resultados obtenidos para las distintas cuencas/regiones estudiadas en China.

CUENCAS/REGIONES	Factor de aumento tasas medias de sedimentación						Aceleración	
	(1)			(2)			Post 1950	
	AA- CC	CC- DD	AA- DD	AA- CC	CC- DD	AA- DD	(1)	(2)
Llanura del Nordeste	1,35	3,51	4,74	1,64	2,22	3,64	SI	SI
Llanuras del Norte y Cuenca del río Amarillo	8,64	1,45	12,54	3,12	3,02	9,43	NO	A
Tierras altas del Tibet y Mongolia	1,71	3,63	6,21	-	-	-	SI	SI
Montañas del Sur y cuenca del río Yangtze	1,63	1,58	2,58	1,67	1,82	3,05	A	SI
Cuenca Este	4,69	2,28	10,66	1,20	3,59	4,30	A	SI

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

Tabla RSL.3. Resumen de los resultados obtenidos para los distintos ambientes estudiados en India.

TIPO DE AMBIENTE	Factor de aumento tasas medias de sedimentación					Aceleración	
	(1)		(2)			Post 1950	
	AA-CC	CC-DD	AA-DD	AA-CC	CC-DD	AA-DD	(1) (2)
Lagos	1,24	1,58	1,95	1,39	1,78	2,46	SI SI
Depósitos en planicies de inundación	-	2,61	-	-	-	-	¿? ¿?
Reservorios	-	-	-	-	-	-	¿? ¿?
Lagunas Costeras	5,82	1,50	8,73	2,57	2,91	7,47	A SI
Bahías y Estuarios	-	1,67	-	-	-	-	¿? ¿?

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

Tabla RSL.4. Resumen de los resultados obtenidos para las distintas cuencas/regiones estudiadas en India.

CUENCAS/REGIONES	Factor de aumento tasas medias de sedimentación					Aceleración	
	(1)			(2)		Post 1950	
	AA-CC	CC-DD	AA-DD	AA-CC	CC-DD	AA-DD	(1) (2)
Montañas del Norte	-	2	-	-	1,63	-	¿? ¿?
Tierras Altas Centrales	-	-	-	-	-	-	¿? ¿?
Planicie del Ganges	-	-	-	-	-	-	¿? ¿?
Meseta Peninsular	3,27	2,62	8,58	1,39	1,78	2,46	A SI
Costa Este	5,61	1,24	6,94	2,57	2,91	7,47	NO SI

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

Tabla RSL.5. Resumen de los resultados obtenidos para los distintos ambientes estudiados en USA.

TIPO DE AMBIENTE	Factor de aumento tasas medias de sedimentación						Aceleración	
	(1)			(2)			Post 1950	
	AA-CC	CC-DD	AA-DD	AA-CC	CC-DD	AA-DD	(1)	(2)
Lagos	2,30	1,55	3,56	1,67	1,53	2,56	A	A
Depósitos en planicies de inundación	1,46	1,93	2,82	1,63	0,51	0,83	SI	NO
Depósitos en cauces fluviales	3,67	2,59	9,51	1,99	1,88	3,76	A	A
Humedales en planicies de inundación	-	2,46	-	-	-	-	¿?	¿?
Humedales y Lagunas Costeras	1,20	1,21	1,45	1,43	1,73	2,48	A	SI
Reservorios	3,17	1,60	5,06	1,14	1,27	1,44	A	SI
Deltas y prodeltas en ambientes estuáricos y costas continentales adyacentes a la boca de grandes ríos	2,20	3,69	8,14	1,37	1,04	1,42	SI	NO
Bahías y Estuarios	2,53	1,73	4,38	1,48	1,70	2,53	A	SI
Depósitos en costas continentales	4,86	1,02	4,98	1,13	1,62	1,83	NO	SI

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

Tabla RSL.6. Resumen de los resultados obtenidos para las distintas cuencas/regiones estudiadas en USA.

TIPO DE AMBIENTE	Factor de aumento tasas medias de sedimentación						Aceleración	
	(1)			(2)			Post 1950	
	AA- CC	CC- DD	AA- DD	AA- CC	CC- DD	AA- DD	(1)	(2)
Costa Este	2,09	1,64	3,41	1,60	1,64	2,62	A	A
Costa Oeste	1,10	1,78	1,96	1,05	1,18	1,24	SI	SI
Costa Sur	7,02	2,22	15,58	1,51	2,37	3,58	A	SI
Cuenca de los Grandes Lagos	2,59	1,49	3,86	1,45	1,49	2,17	NO	SI
Cuenca del Mississippi	1,52	2,04	3,11	1,56	1,18	1,83	SI	NO
Deltas, Prodeltas y depósitos asociados a la boca del río Mississippi	1,90	5,47	10,39	1,41	0,94	1,33	SI	NO
Cuenca del río Colorado y Gran Lago Salado	11,83	2,01	23,77	1,15	2,74	3,15	A	SI

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

Tabla RSL.7. Resumen de los resultados obtenidos para los distintos ambientes estudiados en Europa.

TIPO DE AMBIENTE	Factor de aumento tasas medias de sedimentación						Aceleración	
	(1)			(2)			Post 1950	
	AA- CC	CC- DD	AA- DD	AA- CC	CC- DD	AA- DD	(1)	(2)
Lagos	2,30	2,98	6,84	1,33	2,06	2,72	SI	SI
Humedales y lagunas en planicies de inundación	6,58	4,37	28,76	2,27	2,20	4,99	A	A
Humedales y lagunas costeras	-	1,09	-	-	-	-	¿?	¿?
Depósitos en planicies de inundación	0,83	3,19	2,65	-	-	-	SI	¿?
Depósitos en cauces fluviales	-	-	-	-	-	-	¿?	¿?
Reservorios	1,63	3,07	4,99	1,21	2,20	2,66	SI	SI
Deltas	-	1,77	-	-	-	-	¿?	¿?
Bahías y estuarios	2,15	1,93	4,17	1,45	1,71	2,48	A	SI
Depósitos en costas continentales	-	10,83	-	-	-	-	¿?	¿?

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

Tabla RSL.8. Resumen de los resultados obtenidos para los distintos países/regiones estudiados en Europa.

TIPO DE AMBIENTE	Factor de aumento tasas medias de sedimentación						Aceleración	
	(1)			(2)			Post 1950	
	AA-CC	CC-DD	AA-DD	AA-CC	CC-DD	AA-DD	(1)	(2)
Svalbard	1,20	1,95	2,33	1,27	2,15	2,72	SI	SI
Rumania	1,67	2,79	4,66	2,73	2,59	7,06	SI	A
Alemania, Polonia, Eslovaquia y República Checa	5,04	5,50	27,70	1,76	2,01	3,55	SI	SI
Región de los Alpes	2,70	5,17	13,99	1,13	1,35	1,52	SI	SI
Francia, Bélgica, Luxemburgo, Holanda	-0,66	3,45	2,27	-	1,74	-	SI	¿?
Península Escandinava	3,74	2,67	9,98	1,05	1,60	1,65	A	SI
Islas Británicas	1,94	2,25	4,36	1,38	2,46	3,40	SI	SI
Península Ibérica	2,10	1,56	3,28	1,41	1,70	2,39	NO	SI
Italia	0,78	1,43	10,19	2,01	1,22	2,46	SI	NO

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

Tabla RSL.9. Resumen de los resultados obtenidos para los distintos ambientes estudiados en Australia.

TIPO DE AMBIENTE	Factor de aumento tasas medias de sedimentación						Aceleración	
	(1)			(2)			Post 1950	
	AA- CC	CC- DD	AA- DD	AA- CC	CC- DD	AA- DD	(1)	(2)
Depósitos en planicies de inundación	4,12	0,61	2,51	3,79	0,63	2,37	NO	NO
Humedales y lagunas en llanuras de inundación	12,49	2,04	25,51	9,48	3,56	33,80	A	A
Bahías y Estuarios	13,22	2,53	33,40	400	0,66	264	A	NO
Albuferas y Lagunas Costeras	3,88	3,20	12,40	3,65	5,56	20,28	A	SI
Represas	-	2,37	-	-	-	-	¿?	¿?
Deltas	4,14	4,71	19,49	-	-	-	SI	¿?

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

Tabla RSL.10. Resumen de los resultados obtenidos para las distintas cuencas estudiadas en Australia.

CUENCA	Factor de aumento tasas medias de sedimentación						Aceleración	
	(1)			(2)			Post 1950	
	AA- CC	CC- DD	AA- DD	AA- CC	CC- DD	AA- DD	(1)	(2)
Cuenca Sur	-	18,51	-	-	-	-	¿?	-
Cuenca Norte	3,61	1,62	5,85	-	-	-	NO	-
Cuenca Murray-Darling	13,63	2,98	40,64	7,25	5,53	40,03	A	A
Cuenca Este	9,18	1,47	13,55	5,24	1,84	9,66	NO	NO
Arco Brisbane-Melbourne	9,23	1,48	13,66	6,16	2,32	14,28	NO	A
Arco Brisbane-Melbourne (zona bajo influencia de Brisbane, Sydney, Melbourne)	4,82	2,41	11,60	6,16	2,32	14,28	A	A
Arco Brisbane-Melbourne (Sydney, Lago Illawarra)	3,70	3,09	11,46	3,73	2,63	9,78	A	A
Resto Arco Brisbane-Melbourne	35,74	0,78	27,94	-	-	-	NO	-
Cuenca Este (zona fuera del Arco Brisbane-Melbourne)	9,69	1,30	12,61	3,79	0,63	2,37	NO	NO

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

Tabla RSL.11. Resumen de los resultados obtenidos para las distintas zonas estudiadas.

Países / Regiones	Factor de aumento tasas medias de sedimentación						Aceleración	
	(1)			(2)			Post 1950	
	AA-CC	CC-DD	AA-DD	AA-CC	CC-DD	AA-DD	(1)	(2)
China	2,59	1,97	5,09	1,51	2,49	3,77	A	SI
Australia	7,26	1,65	11,97	6,02	3,56	21,43	NO	A
India	3,90	1,25	4,88	1,84	2,38	4,38	NO	SI
Estados Unidos	1,78	2,24	3,98	1,46	1,45	2,12	SI	A
Rumania	1,67	2,79	4,66	1,67	2,79	4,66	SI	SI
Alemania	5,04	5,50	27,69	1,76	2,01	3,55	SI	SI
Región de los Alpes	2,70	5,17	13,99	1,13	1,35	1,52	SI	SI
Francia	0,66	3,45	2,27	-	-	-	SI	-
Islas Británicas	1,94	2,25	4,36	1,38	2,46	3,40	SI	SI
Italia	1,83	7,12	13,06	2,01	1,22	2,46	SI	NO
Península Escandinava	3,74	2,67	9,98	1,05	1,60	1,69	A	SI
Península Ibérica	2,10	1,56	3,28	1,41	1,70	2,39	A	SI

Nota: (1) Promedios de todos los puntos; (2) promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales. SI. Aceleración geométrica. A. Aceleración aritmética.

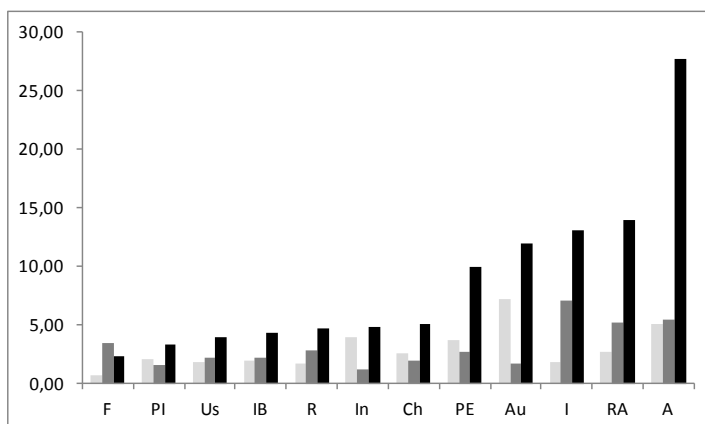


Figura RSL.1. Comparación de los factores de aumento de las tasas medias de sedimentación en las distintas zonas estudiadas (promedio de todos los puntos con datos). En gris claro AA-CC; gris oscuro CC-DD; negro AA-DD. (F) Francia, (PI) Península Ibérica; (Us) Estados Unidos; (IB) Islas Británicas; (R) Rumania; (In) India; (Ch) China; (PE) Península Escandinava; (Au) Australia; (I) Italia; (RA) Región de los Alpes; (A) Alemania.

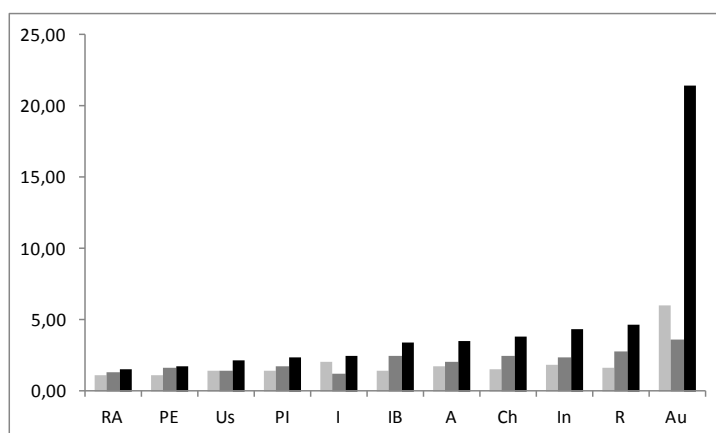


Figura RSL.2. Comparación de los factores de aumento de las tasas medias de sedimentación en las distintas zonas estudiadas (promedio de los puntos con datos para los tres lapsos temporales). En gris claro AA-CC; gris oscuro CC-DD; negro AA-DD. (F) Francia, (PI) Península Ibérica; (Us) Estados Unidos; (IB) Islas Británicas; (R) Rumania; (In) India; (Ch) China; (PE) Península Escandinava; (Au) Australia; (I) Italia; (RA) Región de los Alpes; (A) Alemania.

3.3. Análisis de las variaciones espaciales

3.3.1. Introducción

El análisis espacial se ha realizado para ver si se cumple otra de las predicciones que se derivan del modelo cuya validez se está tratando de comprobar. Esta predicción se puede formular como: “si el modelo es cierto, a igualdad de otros factores, debería haber una correlación entre la intensidad de la presión geomorfológica humana en diferentes zonas y la tasa de generación de sedimento en las mismas”. La comprobación de esta predicción, a partir de los datos disponibles, presenta más dificultades que la relativa a la variación temporal.

Para explorar las posibles correlaciones entre la tasa de generación de sedimento y la intensidad de la influencia humana, se deberían utilizar unidades normalizadas, independientes de la extensión de las áreas de análisis. Esas unidades podrían ser t/ha/año o mm/año para la generación de sedimento, y PIB/km² para la presión geomorfológica humana. El análisis, idealmente, se debería aplicar a cuencas fluviales de características similares desde el punto de vista climático, litológico, geomorfológico, etc., con el fin de reducir en la medida de lo posible la influencia de otras variables. Lo anterior requiere disponer en esas cuencas de datos sobre ambos indicadores en un mismo periodo (o, mejor aún, en varios periodos diferentes comunes a todas las cuencas). Son evidentes las dificultades para obtener datos de PIB referidos a unidades como cuencas hidrográficas, puesto que ese tipo de datos se recogen para países o subdivisiones administrativas dentro de los mismos. En algunos casos, aunque no haya coincidencia total, hemos podido identificar ciertas divisiones administrativas asimilables a una cuenca. Una segunda dificultad se refiere a las tasas de denudación. Esto se podría abordar a través de datos sobre caudales sólidos en ríos, que pueden tomarse como una aproximación a la denudación producida, suponiendo una distribución uniforme en la cuenca correspondiente. Aunque esto no es exacto, sí permitiría una comparación con la presión geomorfológica humana, utilizando en ambos casos variables normalizadas.

3.3.2. Metodología y datos

Para analizar las relaciones espaciales entre las tasas de sedimentación (indicador de la actividad de los procesos geomorfológicos superficiales) y los impulsores naturales y antrópicos se ha utilizado un Sistema de Información Geográfica, SIG, (ArcGis 10.2), en el que se ha creado un banco de datos georreferenciados, se han realizado las correlaciones espaciales y se han representado los resultados en forma de mapas. Desde el SIG se han exportado los datos tabulares a una hoja de cálculo para generar las gráficas de correlación.

La hipótesis se basa en que, si existe una relación entre fuerza motriz antrópica como causante directa o indirecta de procesos geomorfológicos, las áreas en las que los impulsores de origen humano se manifiesten con alta intensidad deberán coincidir geográficamente con valores altos de actividad de los procesos y viceversa. Obviamente, habrá que analizar simultáneamente las relaciones espaciales en relación con los impulsores naturales para desacoplar ambos efectos. El indicador utilizado para expresar la distribución espacial de la actividad de los procesos son las tasas de sedimentación, expresadas en cm/año. Estos datos incluyen los obtenidos expresamente para este trabajo, por medio de sondeos y dataciones, y los obtenidos a partir de la extensa revisión bibliográfica realizada. A los casi un millar de puntos con tasas de sedimentación se les asignaron las coordenadas geográficas con la ayuda de Google Earth. La variable precipitación anual acumulada es una variable para la que se dispone de datos fiables para todo el mundo, con una relativamente buena resolución espacial. Las precipitaciones determinan en gran medida los procesos y riesgos hidrogeomorfológicos (fundamentalmente inundaciones y deslizamientos) por lo que se ha considerado un parámetro adecuado para este análisis espacial. Como variable indicativa del grado de actividad humana se ha utilizado el PIB/km², obtenido indirectamente a partir de la densidad de población y los datos de PIB per cápita, tal y como se ha justificado anteriormente en este trabajo. De esta forma, ha sido posible obtener datos sobre las variables anteriores en forma de mapas, con resolución espacial y calidad aceptables, los cuales se han cruzado con los datos de tasas de sedimentación para analizar las correlaciones espaciales.

Datos utilizados

Los datos utilizados se muestran en la figura AE.1.

- Densidad de población (habitantes/km²); raster (grid). Este mapa ha servido de base para obtener datos sobre PIB/km², variable indicadora de la intensidad de la actividad humana. Fuente: UN-Adjusted Population Density, 2010-Global (en <http://sedac.ciesin.columbia.edu/downloads/maps/>). Referencia Espacial: GCS WGS 1984, grados decimales; unidad angular: 0,0174; Datum: D WGS 1984, 36.000 columnas y 14.500 filas (0,01 x 0,01 grados). El sistema de referencia de este mapa es el que ha servido de base para los mapas restantes.
- Precipitación total anual media (mm); raster (grid). Este mapa representa la variable precipitación y es la variable climática, Fuente: CRU TS3.21: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.21 of High Resolution Gridded Data: Global Precipitation Climatology Centre (en <http://www.globalclimatemonitor.org/>). Referencia Espacial: User Defined Mercator; unidad linear: 1 m; Datum: D User Defined, 2004 columnas y 1319 filas (20.000 x 20.000 m). Este mapa fue posteriormente re-muestreado a la referencia Espacial: GCS WGS 1984, grados decimales; unidad angular: 0,0174; Datum: D WGS 1984, 2606 columnas y 1050 filas (0,14 x 0,14 grados).
- Puntos con datos sobre tasas; vectorial (shapefile). Localización de los 970 puntos para los que hay tasas de sedimentación. Referencia espacial: GCS_WGS_1984; Datum: D_WGS_1984; Prime Meridian: Greenwich; Angular Unit: grados. En la tabla de atributos asociados de este mapa de puntos se han incluido varios ítems: identificador, país, tasa de sedimentación 1800-1900, tasa de sedimentación 1900-1950, tasa de sedimentación 1950-presente, PIB nacional normalizado 2010 (obtenido del banco mundial (en <http://data.worldbank.org/indicator/>)).

Los mapas originales tuvieron que ser posteriormente tratados para comprobar y corregir errores y transformados para poder ser utilizados en el análisis (sistema de referencia especialmente). A partir del mapa de puntos con tasas se elaboró un modelo de tasas de sedimentación

promedio en un entorno (tamaño de celda) de 0,5 x 0,5 grados para mostrar en forma de mapa la distribución espacial de la tasas.

Por último, los mapas se combinaron para extraer una tabla de datos que contiene, para cada punto del que se disponen de tasas de sedimentación, información relativa a la precipitación y densidad de población. En la tabla de datos resultante se incorporó la información sobre PIB per cápita por región, para obtener el PIB/km² (multiplicando PIB/hab por hab/km²).

Según se ha indicado más arriba, la hipótesis planteada, aun siendo razonable, es difícilmente contrastable a partir de los datos disponibles, por lo que no es esperable obtener resultados claros. No obstante, desde el punto de vista formal y metodológico se ha considerado conveniente realizar este análisis espacial, fundamentalmente con el fin de determinar si esta primera correlación revela algún tipo de relación entre las variables. Entre los factores limitantes de este estudio se señalan los siguientes:

- Limitaciones de la variable tasa de sedimentación. Como se ha comentado anteriormente, las tasas de sedimentación son solo un reflejo parcial de la actividad de los procesos superficiales. El que el dato de tasa de sedimentación, obtenido de una muestra puntual, sea representativo de la sedimentación en el ambiente sedimentario en el que se haya tomado la muestra es cuestionable. Tampoco hay datos sobre el área cuenca de influencia de la que proceden los sedimentos, las trampas sedimentarias existentes aguas arriba de la cuenca hidrográfica, etc. Además, las estimaciones cuantitativas de las tasas no están carentes de errores. Por último, habría que añadir los errores derivados de la georreferenciación de los puntos con tasas de sedimentación.
- Limitaciones de la variable relativa al grado de actividad de los procesos naturales. La precipitación es solo uno de los muchos factores naturales que determinan la actividad de los procesos superficiales y, aun siendo uno de los más relevantes, son muchos otros los parámetros climáticos que deberían considerarse (intensidad de la lluvia, estacionalidad, evapotranspiración, etc.). En todo caso, la resolución espacial de este dato (la menor de todos los mapas utilizados) no debería suponer una limitación significativa para este análisis.

- Limitaciones de la variable indicativa del grado de intervención humana. La variable utilizada en este caso ha sido el PIB/km². Ya se ha comentado anteriormente en este trabajo la simplificación que supone el uso de esta variable para expresar el grado de intervención humana en el territorio, especialmente teniendo en cuenta el procedimiento de obtención en este caso. No obstante, de los posibles parámetros examinados, es el único que puede expresarse cartográficamente con suficiente resolución y calidad a escala global. En todo caso, la mayor limitación de esta variable cartográfica reside en el hecho de que el valor puntual que se extrae del mapa correspondiente no es necesariamente representativo del PIB de la cuenca en la que se ha generado el sedimento que ha dado lugar a la correspondiente tasa de sedimentación.

3.3.3. Resultados de las correlaciones

En una primera aproximación, cuando se representa la distribución espacial de la densidad de tasas de sedimentación sobre el mapa de impulsores socioeconómicos (Figs. AE.2, AE.3 y AE.4) se observa una cierta relación, en el sentido de que las áreas más pobladas (mayor PIB) tienden a coincidir con las zonas en las que las tasas de sedimentación son mayores. No obstante, para profundizar en esta posible correlación se han analizado los datos con más detalle.

En la figura AE.5 se han representado las tasas de sedimentación recientes frente a los valores de PIB/km². No se observa ninguna relación. Resultados similares se obtienen cuando se compara el dato de PIB con las tasas de sedimentación del siglo XIX o de la primera mitad del XX (ver anexos). Considerando las regiones aquí analizadas (Australia, China, Europa, EEUU; no se ha analizado India, porque el número de datos es menor y su calidad peor), las diferencias entre los valores de PIB de unas regiones y otras son muy notables, lo que provoca tanta disparidad. En consecuencia, los datos se deben analizar por regiones.

Si se analizan comparativamente por regiones las tasas de sedimentación frente al PIB/km² y frente a las precipitaciones, se observa una muy alta dispersión / muy escasa correlación y en muchos casos los

datos son aparentemente contradictorios. No obstante se vislumbran algunas pautas:

- Tendencia a una correlación ligeramente negativa (mayor tasa, menor PIB) para las tasas de sedimentación más recientes (con la excepción de China que es ligeramente positiva). No existe aparentemente ninguna pauta de correlación entre tasas y precipitaciones para este periodo.
- Tendencia ligeramente positiva en Europa y EEUU para las tasas de la primera mitad del XX, mientras que ligeramente negativas en el caso de Australia y China para el mismo periodo. Tendencia a una correlación negativa con las precipitaciones con la excepción de China.
- Comportamiento similar al anterior para las tasas del XIX frente a PIB (Europa y EEUU positiva, Australia y China ligeramente negativa). Por el contrario, en relación con las precipitaciones Europa y EEUU presentan una correlación ligeramente negativa y Australia y China ligeramente positiva.

Los impulsores considerados están basados en datos de 2010 por lo que su comparación con las tasas de sedimentación recientes (1950-actualidad) es afín. Sin embargo, cuando los impulsores se comparan con tasas de sedimentación más antiguas (del XIX o de la primera mitad del XX) los parámetros utilizados no son los adecuados, especialmente en el caso de la variable PIB/km². Aunque se utilicen datos de PIB per cápita para el periodo equivalente a las tasas de sedimentación, la densidad de población corresponde a 2010, por lo que puede haber variado muy significativamente. Por ello y porque las correlaciones son muy pobres se deben considerar aún con más precaución.

En la figura AE.6, se muestran varias gráficas relativas a EEUU, la región para la que se dispone de un mayor número de tasas de sedimentación. A pesar de la elevada dispersión de los datos, en general se observa que las tasas son mayores con PIB más elevados, pero disminuyen con el aumento de las precipitaciones.

Si se considera el factor de aumento o el porcentaje de incremento de las tasas de sedimentación los resultados tampoco son clarificadores. En la

figura AE.7 se muestran las variaciones en las tasas de sedimentación para el último siglo (variación del periodo 1950- actualidad con respecto a 1900-1950). La dispersión de valores es lo más relevante, pero también se observa una ligera correlación positiva entre el impulsor antrópico y el factor de variación de las tasas de sedimentación.

En resumen, del análisis de datos espaciales no se desprende ninguna conclusión clara. Si acaso una muy ligera relación positiva entre tasas de sedimentación y el indicador de actividad humana que no parece corresponderse tan bien con la variable relativa al impulsor natural. Sería conveniente profundizar en este tipo de análisis para tratar de obtener resultados más sólidos. Para ello, como se ha comentado ya con anterioridad, sería muy conveniente disponer de datos sobre tasas de generación de sedimento en un número suficientemente alto de cuencas, así como sobre precipitaciones (totales y frecuencia/intensidad de tormentas) y PIB/km², referidos a las mismas cuencas.

3.3.4. Análisis regionales

Para tratar de profundizar algo más, dentro de las limitadas posibilidades existentes con los datos actuales, se ha abordado el análisis espacial en dos de las grandes regiones estudiadas, Australia y Europa, para las cuales se han obtenido datos de PIB desagregados en unidades menores, que permiten comparaciones dentro de las mismas. El análisis no se ha realizado por puntos con datos, sino para unidades amplias, correspondientes a divisiones político-administrativas.

Australia

En el caso de Australia, como se ha indicado en el apartado correspondiente, ha sido posible obtener datos de PIB desagregados por unidades administrativas de pequeña extensión, que mayoritariamente quedan contenidas dentro de las cuencas y resultan asimilables, con bastante precisión, a estas.

Se ha llevado a cabo un análisis espacial de las relaciones entre los factores de aumento del PIB y de las tasas de sedimentación en las

distintas zonas estudiadas. El análisis se realizó comparando los factores de aumento de la densidad de PIB con los factores de aumento de las tasas medias de sedimentación (figuras AE.8 a-c). En las figuras AE.8 a, b no parece haber ninguna relación entre los factores de aumento de las variables comparadas. Sin embargo, cuando se limita el análisis al conjunto de la Cuenca Este, incluyendo a las sub-unidades espaciales en que ha sido delimitada, los resultados muestran una clara relación entre los factores de aumento de la densidad de PIB y de las tasas de sedimentación para los dos últimos lapsos temporales. En la caricatura numérica de la figura AE.8 c, se ha indicado el coeficiente de correlación de 0,91.

El mismo análisis se llevó a cabo comparando los valores de densidad de PIB/km² (tomando el promedio de su valor para 10s distintos lapsos temporales) con las tasas medias de sedimentación (figuras AE.9 a-f). En este análisis, se observa que existe un grupo donde las relaciones entre las variables parecen visibles en casi todos los lapsos temporales, y un segundo grupo donde estas relaciones no resultan claras. Estas diferencias pueden deberse, como ya se ha comentado, a que en las distintas cuencas/regiones estudiadas, los valores absolutos de la densidad de PIB resultan inversos a sus tasas de aumento, como se muestra en la figura AE.10. Con el fin de comprobar estas relaciones con los dos grupos de datos, se ha llevado a cabo un nuevo análisis.

Como las relaciones más visibles se encontraron dentro de la Cuenca Este, se agruparon por un lado las sub-unidades espaciales comprendidas dentro de la Cuenca Este y, por otro lado, las grandes cuencas Este, Norte, Sur y del Murray-Darling. En el primer grupo, compuesto por cuencas/regiones más homogéneas desde el punto de vista de su desarrollo económico relativo, se compararon la densidad de PIB/km² con las tasas medias de sedimentación del período DD. En el segundo grupo, para intentar despejar estas disparidades, se compararon la densidad de PIB/km² del período DD, con el factor de aumento de las tasas de sedimentación entre los lapsos temporales CC-DD. Los resultados, que se presentan en las figuras AE.11 a-d, muestran relaciones entre tasas de sedimentación y densidad PIB/km², que podrían indicar una dependencia de las tasas de sedimentación de los impulsores humanos. En las caricaturas numéricas de las figuras AE.11 a-d, se han indicado los coeficientes de correlación, situados entre 0,92 y 0,99.

Como se ha comentado más arriba, la interpretación de las comparaciones y correlaciones espaciales presentadas, tiene un significado limitado, y debe tomarse con mucha cautela. En primer lugar, las cuencas consideradas presentan diferencias en lo referente a distintas variables que intervienen en los procesos de erosión/sedimentación. No hay, por tanto “igualdad de otros factores”. En segundo lugar, si bien los valores de PIB/km² utilizados sí se pueden considerar una expresión válida de la intensidad de la influencia humana en una cuenca, las tasas de sedimentación se refieren a unos pocos puntos dentro de cada cuenca, correspondientes a distintos ambientes de sedimentación, y no necesariamente presentan una relación directa con las tasas de generación de sedimento. Seguramente lo más significativo, dentro de lo que se ha podido elaborar con los datos obtenidos, es considerar los factores de aumento. Por un lado, si las actividades humanas están determinando la intensidad de la denudación en una zona, posiblemente tenga más importancia, para un periodo dado, el grado de intensificación de las mismas que su valor absoluto. Esto es, probablemente tiene más sentido considerar el factor de aumento del PIB que el PIB/km². Por otro lado, si bien el valor absoluto de las tasas de sedimentación seguramente no presenta una relación clara con las tasas de denudación, sí que parece razonable suponer que el ritmo de incremento (factor de aumento) de aquellas, presente un paralelismo con el de estas.

Por su parte, los datos relativos a las lluvias, tampoco muestran diferencias entre las regiones que puedan explicar las distintas tasas de sedimentación en las mismas. Los promedios de las tasas de sedimentación (tablas Au.10-13 b) y los valores de las precipitaciones promedio (figuras Au.31-34) en las cuatro grandes “cuencas” consideradas, no presentan ninguna relación aparente.

Con las cautelas que se han señalado, la interpretación que surge de los datos que se presentan es que sí parece que las diferencias de la intensidad de la actividad humana en las cuencas, se estén manifestando en diferencias en la generación de sedimento. La relación es menos clara que la obtenida en los análisis temporales, más significativos porque en ellos se compara cada zona consigo misma. Sería conveniente profundizar en este aspecto, a partir de la obtención del tipo de datos comentados más arriba.

Europa

Al igual que en el caso de Australia, se ha intentado analizar, aunque sea sobre la base de datos no demasiado adecuados, por las razones ya expuestas, si existe alguna correlación espacial entre las tasas de sedimentación y el PIB en los diferentes países o agrupaciones de países utilizados en el análisis temporal. Las limitaciones de este análisis son similares a las señaladas en el caso de Australia. Además, los países o las agrupaciones de países considerados tienen extensiones y características diversas, y algunas de esas agrupaciones incluye países con situaciones y evolución económica bastante distintas. Por ello y como en el caso anterior, los resultados deben interpretarse con cautela.

El análisis de las relaciones espaciales se realizó primero comparando los factores de aumento de PIB total y tasas de sedimentación para los lapsos temporales AA-CC, CC-DD y AA-DD. Los resultados obtenidos se muestran en las figuras AE. 12 a-c. La figura AE.12 a, sugiere una aparente relación de las variables entre los lapsos AA-CC, pero esta correspondencia no se distingue entre los restantes lapsos temporales.

Las comparaciones se llevaron luego a cabo ponderando la variación del PIB (densidad de PIB/km² y su valor absoluto entre los períodos CC y DD) total mediante el cociente de su valor con el cuadrado de su factor de aumento. El análisis, que se presenta en la figura AE. 13, muestra una aparente relación positiva entre las variables. A diferencia de lo que ocurre con las regiones dentro de Australia, en Europa parece existir alguna relación, en el último periodo considerado, entre la distribución espacial del promedio de las tasas de sedimentación en las distintas zonas analizadas (tablas Eu.10-18 b; capítulo 3.2.4.), aunque no ocurre lo mismo con las precipitaciones (figuras D.6, F.6, I.6, R.6, IB.6, PE.6, PI.6, RA.6, capítulo 3.2.4.).

3.3.5. Síntesis general

A modo de síntesis, un análisis equivalente se ha realizado para el conjunto de grandes áreas analizadas (China, India, USA, Europa, N de España, Australia, Cuenca del Río de la Plata).

Como los países/regiones analizados son de extensiones y características muy diversas, el estudio se llevó a cabo comparando las tasas medias de sedimentación obtenidas para el lapso temporal DD, con el valor del PIB total (promedio 1950-2010), ponderado mediante el cociente de su valor con el cuadrado de su factor de aumento (períodos CC-DD). Los resultados que se presentan en la figura AE.14, sugieren una posible relación de correspondencia entre las tasas de sedimentación y los impulsores humanos.

Por otro lado, se ha realizado una representación similar incluyendo todas las unidades utilizadas para las comparaciones espaciales, es decir, las siete anteriores y las agrupaciones de países o países de Europa. El resultado se presenta en la figura AE.15 a y b. Los resultados de la figura AE. 15 a sugieren una aparente relación de correspondencia entre las variables. Si se suprimen Estados Unidos, los resultados muestran una mejor correspondencia, con un R^2 de 0,65 (figura AE.15 b).

Los análisis espaciales realizados hasta ahora solo muestran un cumplimiento parcial de la predicción hecha a partir del modelo. En conjunto, sí parece que la distribución espacial de las tasas de sedimentación guarda una cierta relación con la presión geomorfológica humana (PIB/km^2), y no muestra relación con las precipitaciones. La posible relación entre tasas de sedimentación y presión geomorfológica humana se manifiesta con más claridad cuando se consideran unidades amplias. Los datos sobre los indicadores que se utilizan en estos casos son promedios para el conjunto de un territorio amplio, en principio más representativos, y más comparables, que los datos sobre puntos concretos. En todo caso, este es un aspecto sobre el que es preciso profundizar, apoyándose en nuevos datos, tal como se ha indicado más arriba.

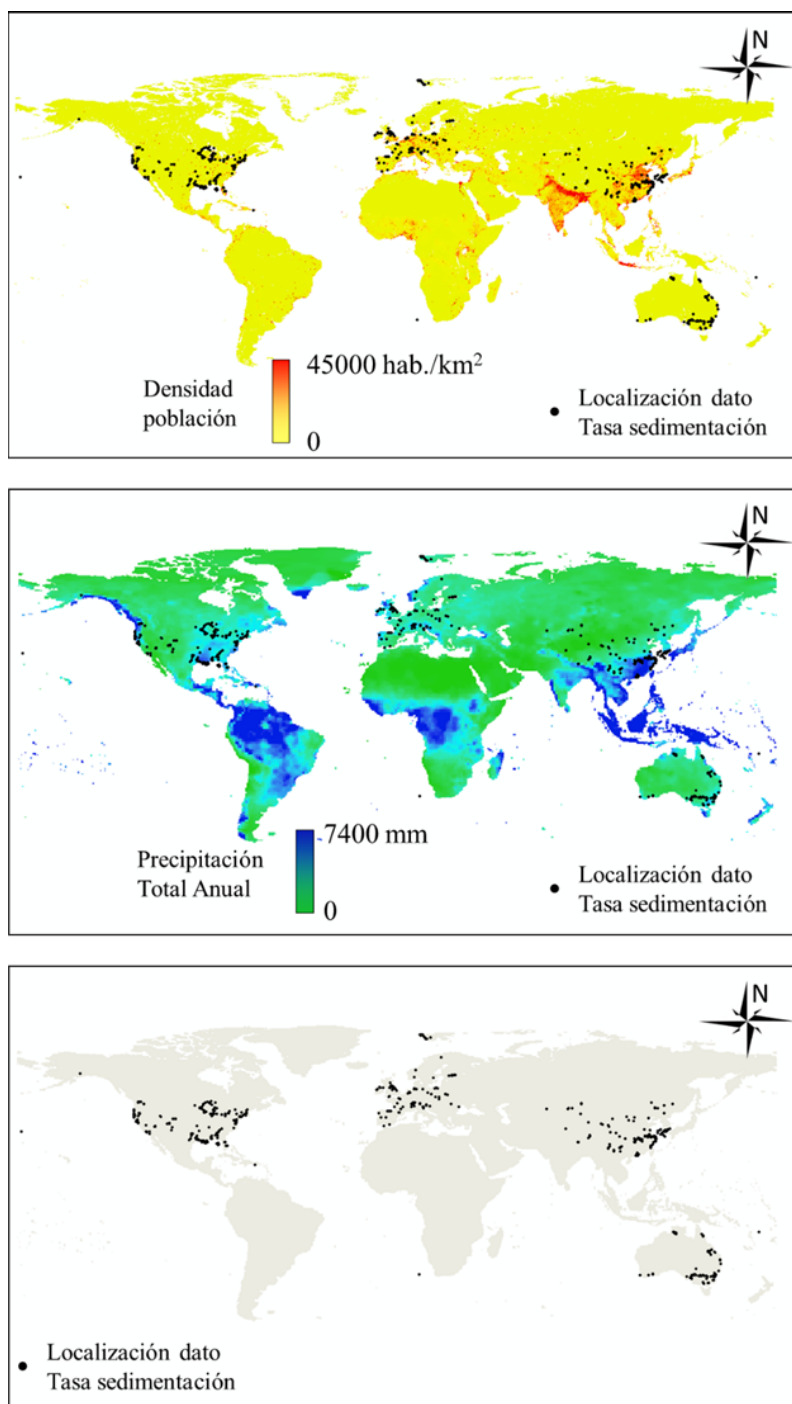


Figura AE.1. Variables utilizadas en el análisis espacial: PIB/km² (aquí representado por la densidad de población, habitantes/km²), precipitación total anual (mm) y localización de los puntos con tasas de sedimentación.

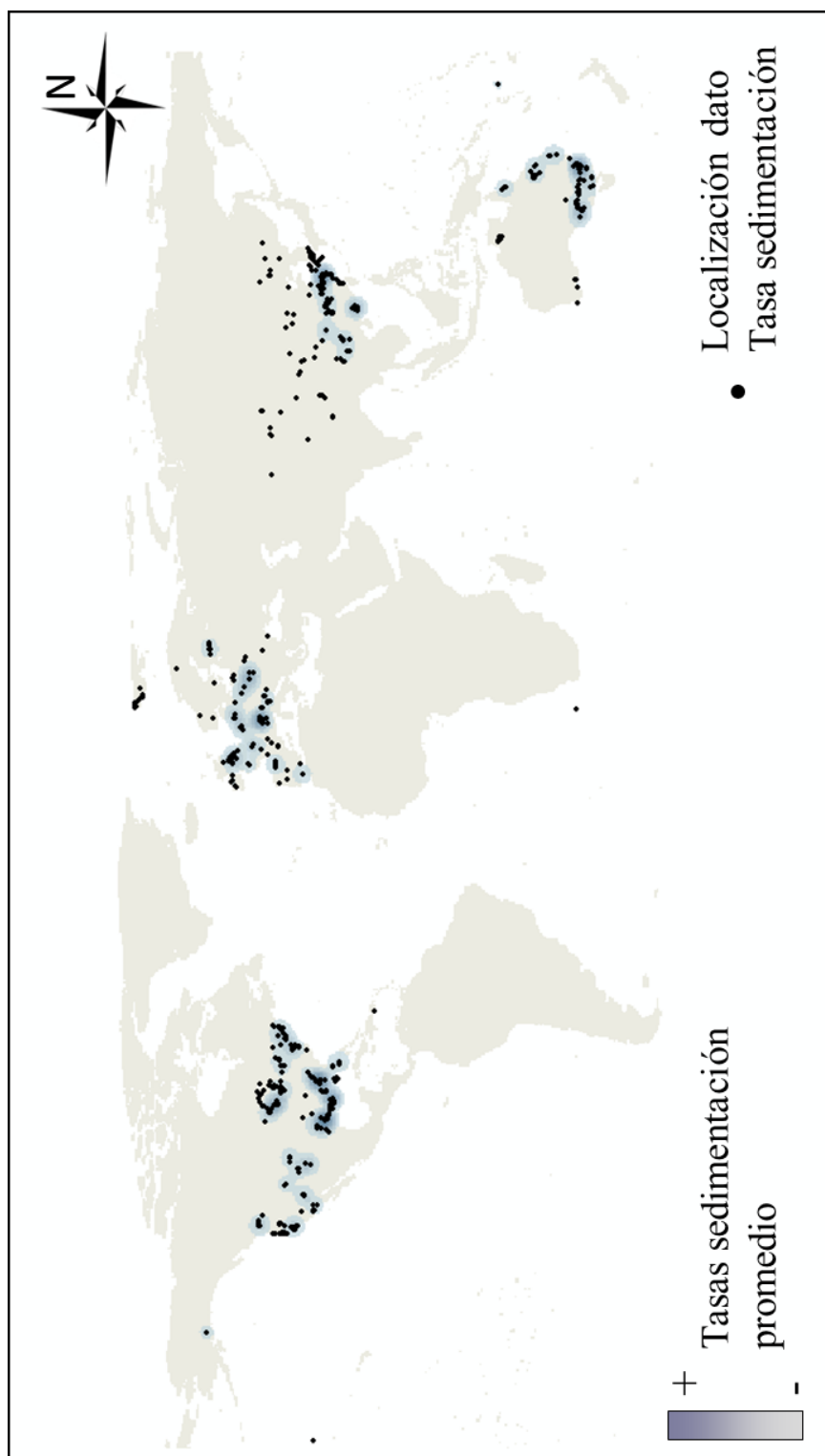


Figura AE.2. Localización de los puntos en los que se han estimado las tasas de sedimentación utilizadas en este trabajo. Asimismo, se muestra un modelo de tasa de sedimentación promedio obtenido por interpolación espacial.

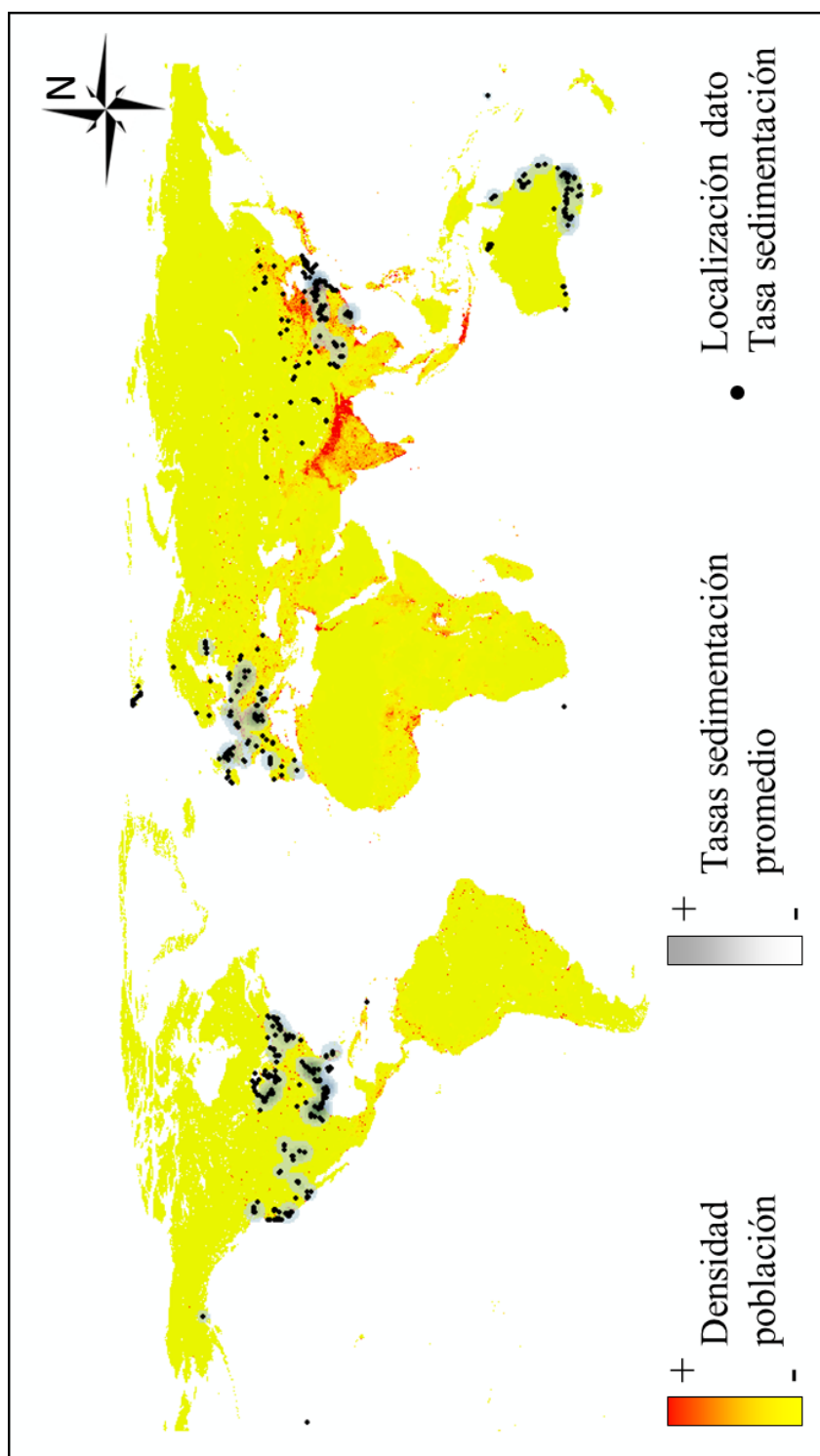


Figura AE.3. Mapa de densidad de población, utilizado para obtener el valor de la variable PIB/km², sobre el que se ha representado un sombreado representativo de la tasa de sedimentación promedio.

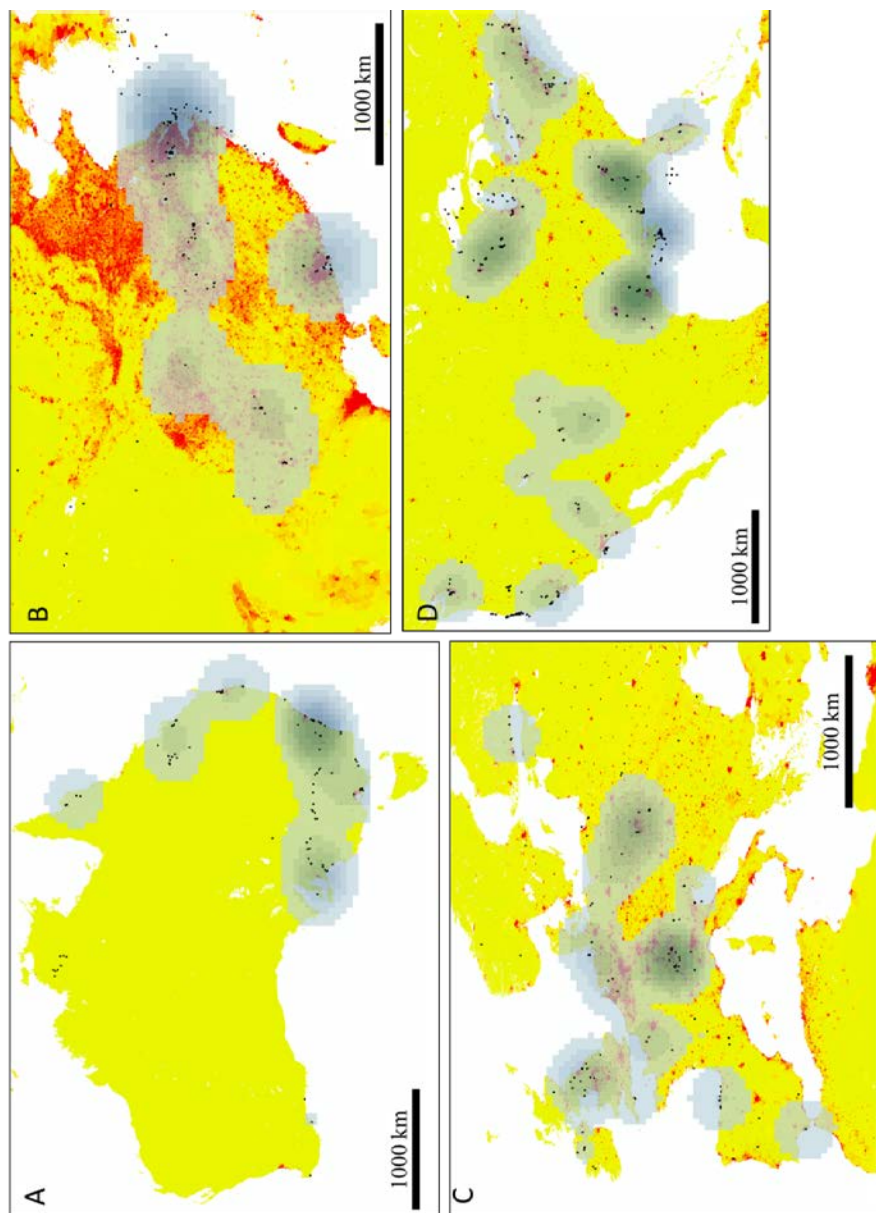


Figura AE.4. Detalles ampliados de la figura anterior, en los que se muestran las regiones estudiadas mediante análisis espacial: Australia (A), China (B), Europa (C) y EEUU (D).

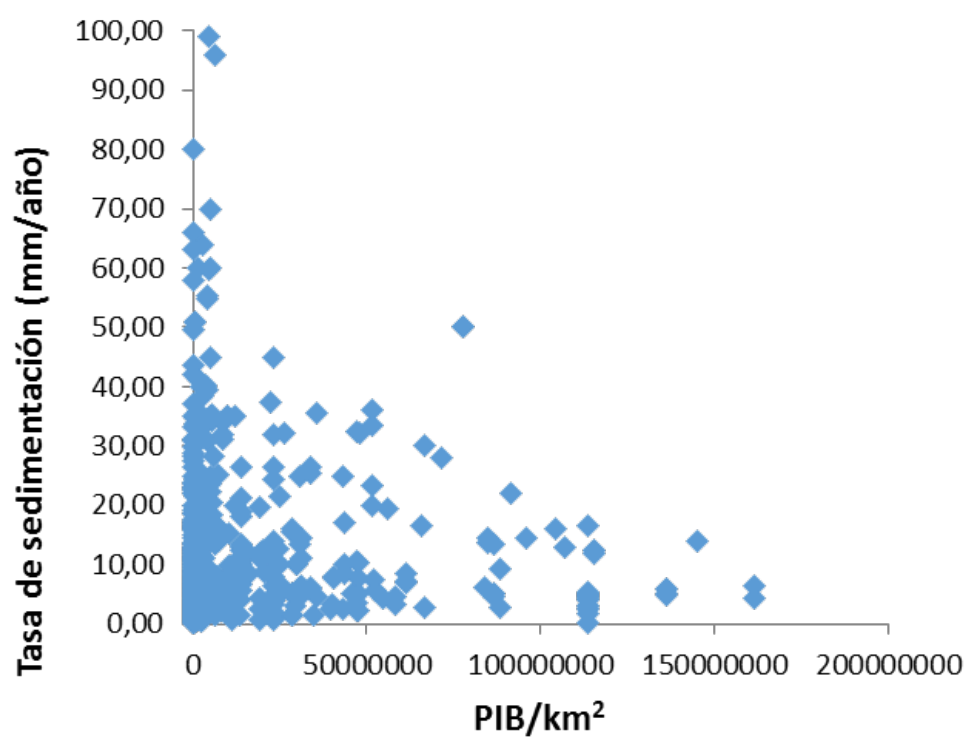


Figura AE.5. Datos mundiales de tasas de sedimentación 1950-actualidad frente a PIB/km².

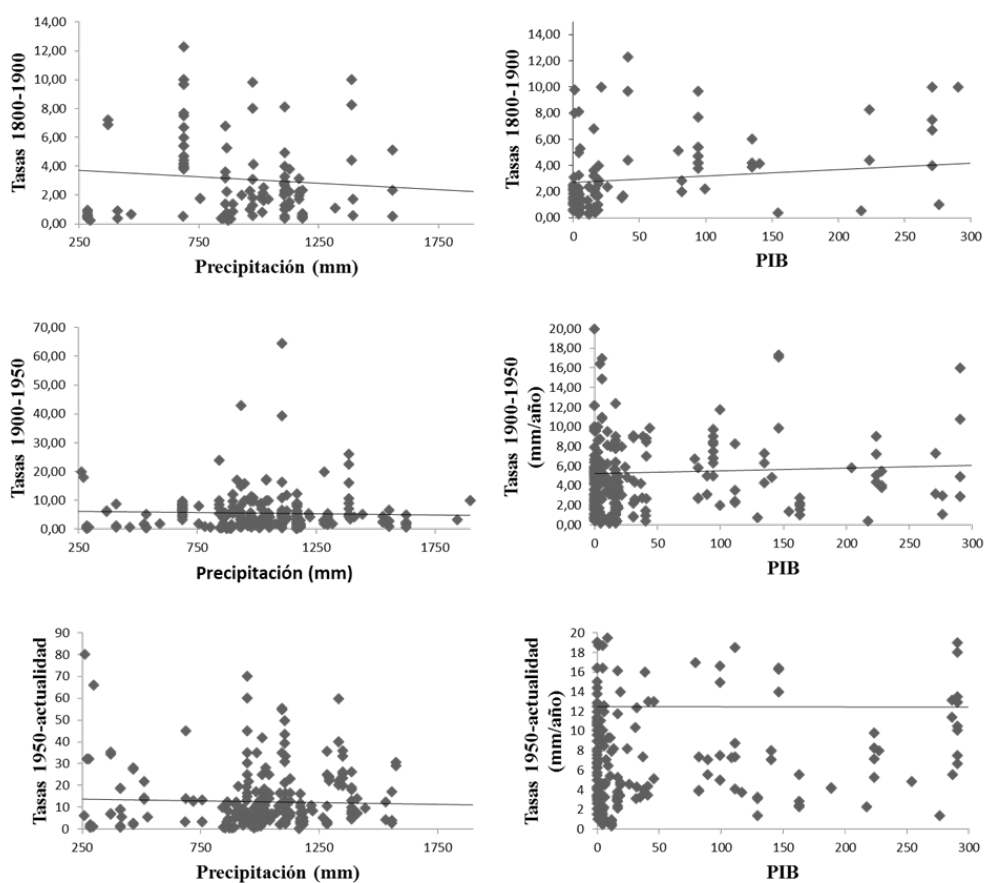


Figura AE.6. Tasas de sedimentación frente a los impulsores considerados en este trabajo para EEUU.

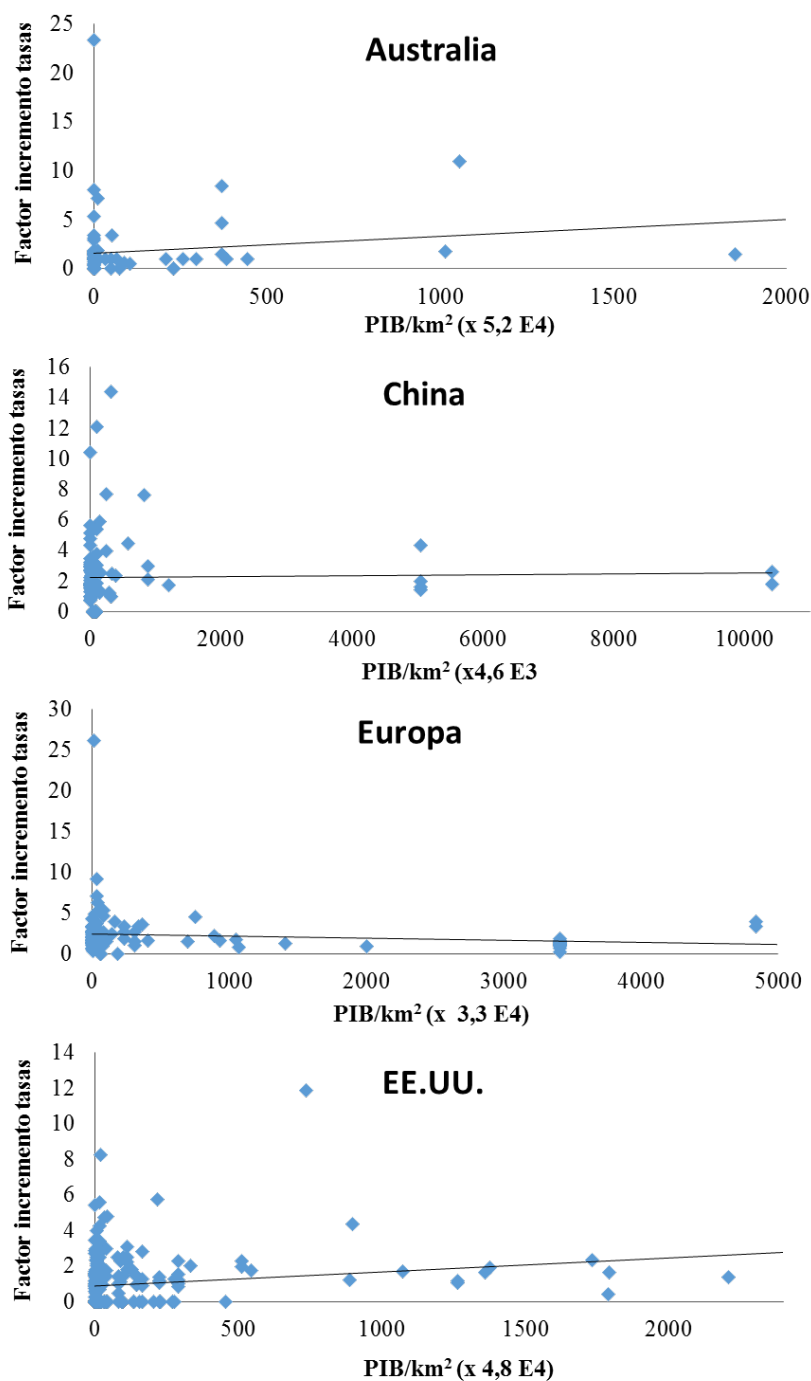


Figura AE.7. Gráficas en las que se muestra el factor de incremento de las tasas de sedimentación (1900-actulidad) frente al PIB.

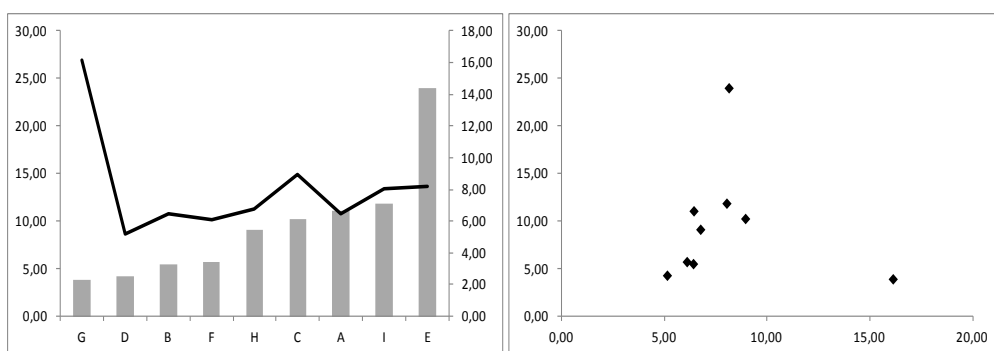


Figura AE.8 a. Izquierda: Relación espacial Factor de aumento densidad PIB/km² y Factor de aumento tasas de sedimentación. Eje derecho: Factor de aumento densidad PIB promedio 1800/1900 – 1900/1950. Izquierda: Factor de aumento tasas medias de sedimentación lapsos temporales AA-CC. A) Cuenca Este; B) Arco Brisbane-Melbourne; C) Zona de Cuenca Este excluida del Arco Brisbane-Melbourne; D) Sub-cuencas en zona de influencia de Sydney; E) Zonas del Arco fuera de la influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne; F) Zonas bajo la influencia de Brisbane, Sydney y Melbourne; G) Cuenca Norte; H) Cuenca Sur; H) Cuenca de los ríos Murray-Darling. Derecha: Gráfica de correlación.

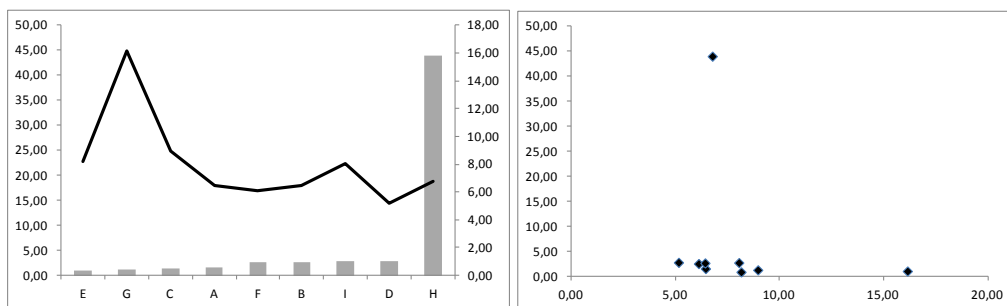


Figura AE.8 b. Izquierda: Relación espacial Factor de aumento densidad PIB/km² y Factor de aumento tasas de sedimentación. Eje derecho: Factor de aumento densidad PIB promedio para 1900/1950-1950/2010. Izquierda: Factor de aumento tasas medias de sedimentación lapsos temporales CC-DD (mm/año). A) Cuenca Este; B) Arco Brisbane-Melbourne; C) Zona de Cuenca Este excluida del Arco Brisbane-Melbourne; D) Sub-cuencas en zona de influencia de Sydney; E) Zonas del Arco fuera de la influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne; F) Zonas bajo la influencia de Brisbane, Sydney y Melbourne; G) Cuenca Norte; H) Cuenca Sur; H) Cuenca de los ríos Murray-Darling. Derecha: Gráfica de correlación.

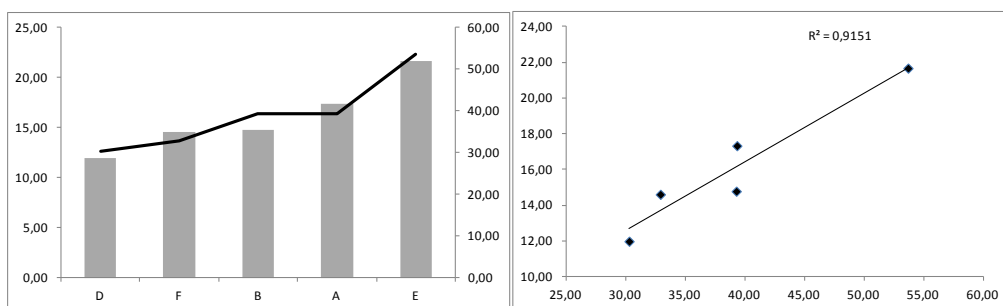


Figura AE.8 c. Izquierda: Relación espacial Factor de aumento densidad PIB/km² y Factor de aumento tasas de sedimentación. Eje derecho: Factor de aumento densidad PIB promedio 1900/1950 – 1950/2010. Izquierda: Factor de aumento tasas medias de sedimentación CC-DD. A) Cuenca Este; B) Arco Brisbane-Melbourne; D) Sub-cuencas en zona de influencia de Sydney; E) Zonas del Arco fuera de la influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne; F) Zonas bajo la influencia de Brisbane, Sydney y Melbourne. Derecha: Gráfica de correlación.

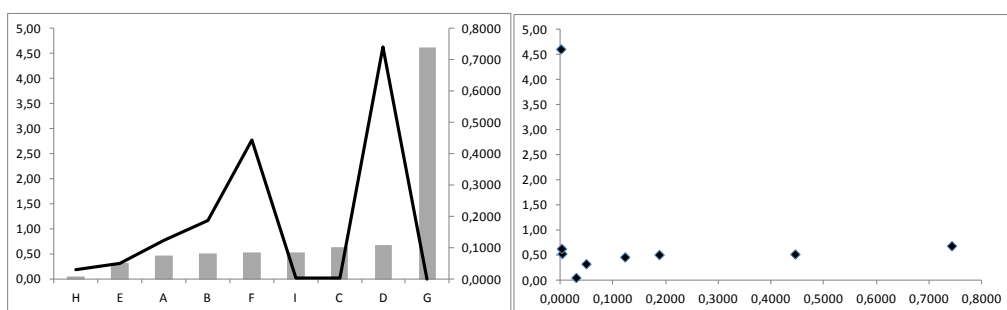


Figura AE.9 a. Izquierda: Relación espacial Densidad PIB/km² y tasas de sedimentación. Eje derecho: Densidad del PIB promedio para 1800-1900 (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Izquierda: tasas medias de sedimentación lapso temporal AA (mm/año). A) Cuenca Este; B) Arco Brisbane-Melbourne; C) Zona de Cuenca Este excluida del Arco Brisbane-Melbourne; D) Sub-cuencas en zona de influencia de Sydney; E) Zonas del Arco fuera de la influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne; F) Zonas bajo la influencia de Brisbane, Sydney y Melbourne; G) Cuenca Norte; H) Cuenca Sur; H) Cuenca de los ríos Murray-Darling. Derecha: Gráfica de correlación.

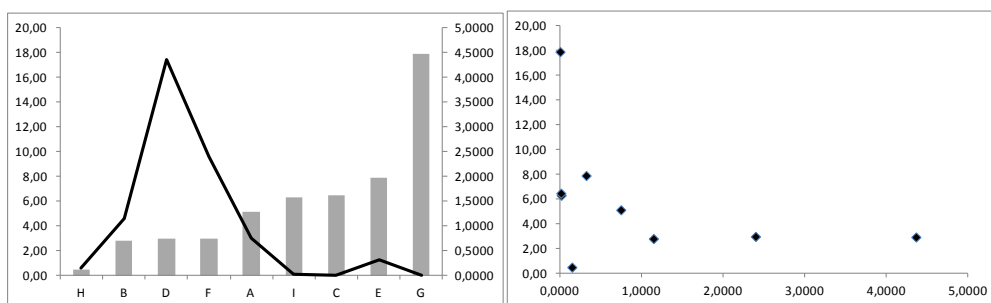


Figura AE.9 b. Izquierda: Relación espacial Densidad PIB/km² y tasas de sedimentación. Eje derecho: Densidad del PIB promedio para 1900-1950 (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Izquierda: tasas medias de sedimentación lapso temporal CC (mm/año). A) Cuenca Este; B) Arco Brisbane-Melbourne; C) Zona de Cuenca Este excluida del Arco Brisbane-Melbourne; D) Sub-cuencas en zona de influencia de Sydney; E) Zonas del Arco fuera de la influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne; F) Zonas bajo la influencia de Brisbane, Sydney y Melbourne; G) Cuenca Norte; H) Cuenca Sur; H) Cuenca de los ríos Murray-Darling. Derecha: Gráfica de correlación.

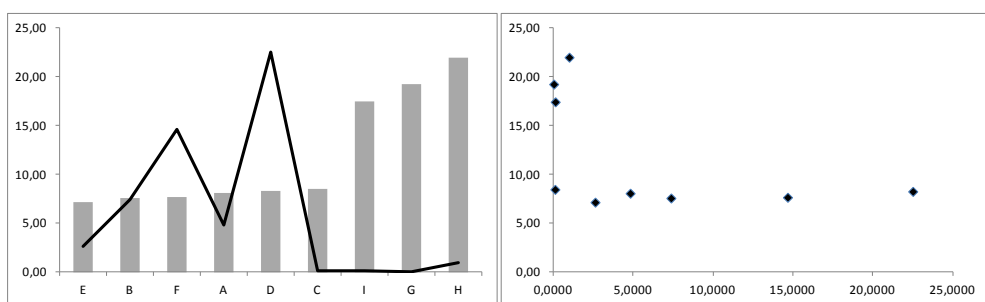


Figura AE.9 c. Izquierda: Relación espacial Densidad PIB/km² y tasas de sedimentación. Eje derecho: Densidad del PIB promedio para 1950-2010 (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Izquierda: tasas medias de sedimentación lapso temporal DD (mm/año). A) Cuenca Este; B) Arco Brisbane-Melbourne; C) Zona de Cuenca Este excluida del Arco Brisbane-Melbourne; D) Sub-cuencas en zona de influencia de Sydney; E) Zonas del Arco fuera de la influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne; F) Zonas bajo la influencia de Brisbane, Sydney y Melbourne; G) Cuenca Norte; H) Cuenca Sur; H) Cuenca de los ríos Murray-Darling. Derecha: Gráfica de correlación.

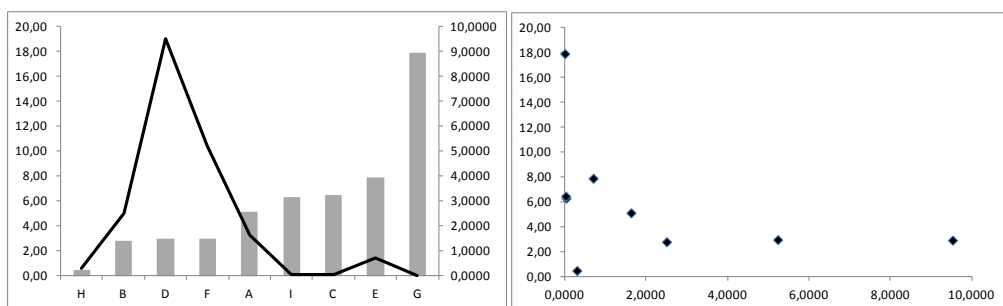


Figura AE.9 d. Izquierda: Relación espacial Densidad PIB/km² y tasas de sedimentación. Eje derecho: Densidad de PIB 1954 (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Izquierda: tasas medias de sedimentación lapso temporal CC (mm/año). A) Cuenca Este; B) Arco Brisbane-Melbourne; C) Zona de Cuenca Este excluida del Arco Brisbane-Melbourne; D) Sub-cuencas en zona de influencia de Sydney; E) Zonas del Arco fuera de la influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne; F) Zonas bajo la influencia de Brisbane, Sydney y Melbourne; G) Cuenca Norte; H) Cuenca Sur; H) Cuenca de los ríos Murray-Darling. Derecha: Gráfica de correlación.

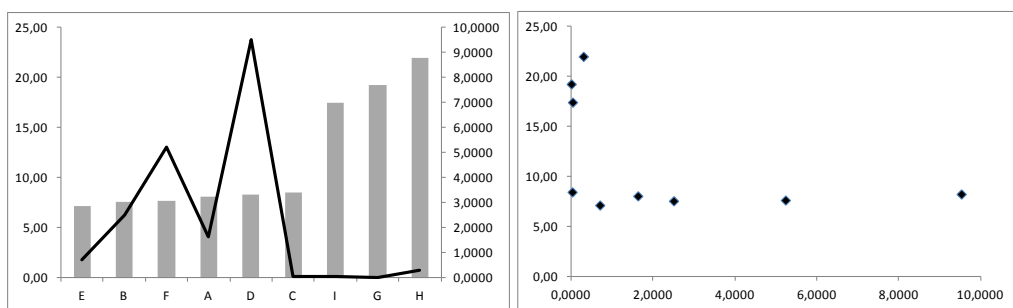


Figura AE.9 e. Izquierda: Relación espacial Densidad PIB/km² y tasas de sedimentación. Eje derecho: Densidad de PIB 1954 (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Izquierda: tasas medias de sedimentación lapso temporal DD (mm/año). A) Cuenca Este; B) Arco Brisbane-Melbourne; C) Zona de Cuenca Este excluida del Arco Brisbane-Melbourne; D) Sub-cuencas en zona de influencia de Sydney; E) Zonas del Arco fuera de la influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne; F) Zonas bajo la influencia de Brisbane, Sydney y Melbourne; G) Cuenca Norte; H) Cuenca Sur; H) Cuenca de los ríos Murray-Darling. Derecha: Gráfica de correlación.

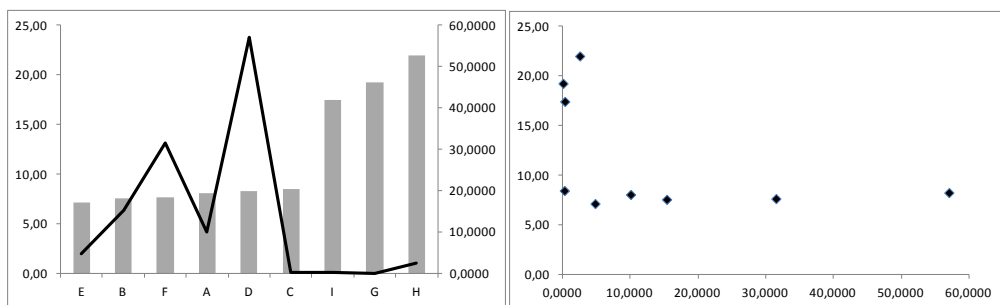


Figura AE.9 f. Izquierda: Relación espacial Densidad PIB/km² y tasas de sedimentación. Eje derecho: Densidad de PIB 2011 (10⁶ dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990). Izquierda: tasas medias de sedimentación lapso temporal DD (mm/año). A) Cuenca Este; B) Arco Brisbane-Melbourne; C) Zona de Cuenca Este excluida del Arco Brisbane-Melbourne; D) Sub-cuencas en zona de influencia de Sydney; E) Zonas del Arco fuera de la influencia de los centros urbano-industriales de Brisbane, Sydney y Melbourne; F) Zonas bajo la influencia de Brisbane, Sydney y Melbourne; G) Cuenca Norte; H) Cuenca Sur; H) Cuenca de los ríos Murray-Darling. Derecha: Gráfica de correlación.

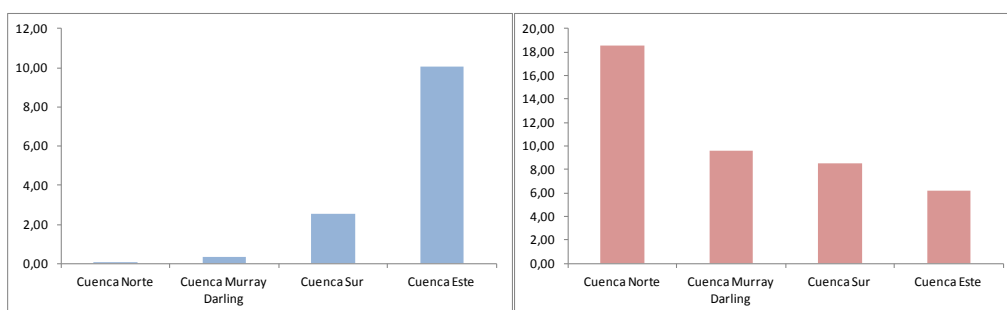


Figura AE.10. Izquierda: Valores absolutos de densidad PIB/km² para 2010 (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990) en las cuatro cuencas estudiadas. Derecha: Factores de aumento de densidad PIB/km² entre los lapsos temporales CC y DD.

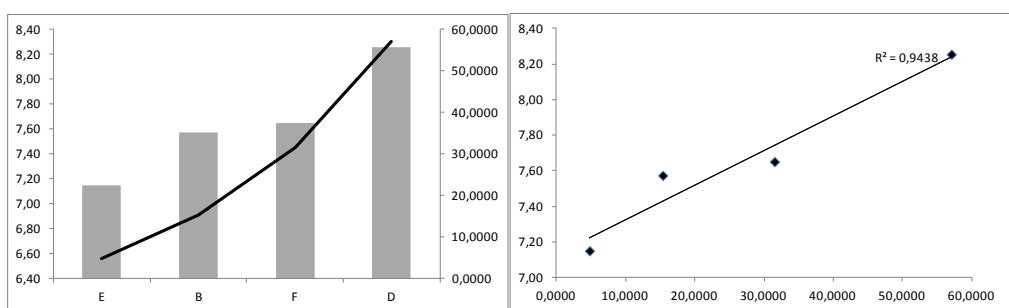


Figura AE.11 a. Izquierda: Relación de los valores absolutos de densidad PIB/km² al año 2011 (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990) con tasas de sedimentación; lapso temporal DD (mm/año) en las sub-unidades espaciales comprendidas dentro de la Cuenca Este. Eje izquierdo: Tasas medias de sedimentación. Eje derecho: Densidad PIB/km². Derecha: Gráfica de correlación.

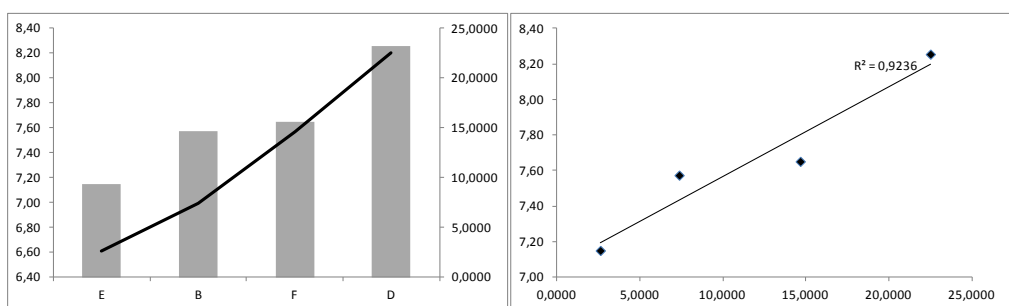


Figura AE.11 b. Izquierda: Relación de los valores absolutos de densidad PIB/km² promedio 1950-2010 (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990) con tasas de sedimentación; lapso temporal DD (mm/año) en las sub-unidades espaciales comprendidas dentro de la Cuenca Este. Eje izquierdo: Tasas medias de sedimentación. Eje derecho: Densidad PIB/km². Derecha: Gráfica de correlación.

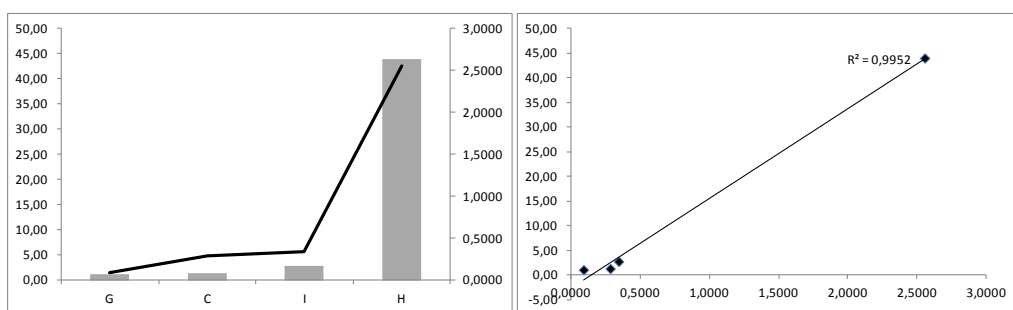


Figura AE.11 c. Izquierda: Relación de los valores absolutos de densidad PIB/km² al año 2011 (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990) y Factor de aumento de tasas de sedimentación entre lapsos temporales CC-DD (mm/año) en las Cuencas Este, Sur, Norte y del Murray-Darling. Eje izquierdo: Factor de aumento tasas medias de sedimentación. Eje derecho: Densidad PIB/km². Derecha: Gráfica de correlación.

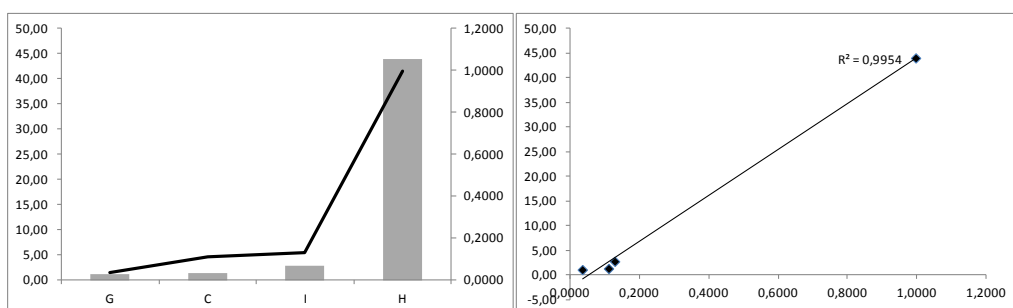


Figura AE.11 d. Izquierda: Relación de los valores absolutos de densidad PIB/km² promedio 1950-2010 (10⁶ dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990) y Factor de aumento de tasas de sedimentación entre lapsos temporales CC-DD (mm/año) en las Cuencas Este, Sur, Norte y del Murray-Darling. Eje izquierdo: Factor de aumento tasas medias de sedimentación. Eje derecho: Densidad PIB/km². Derecha: Gráfica de correlación.

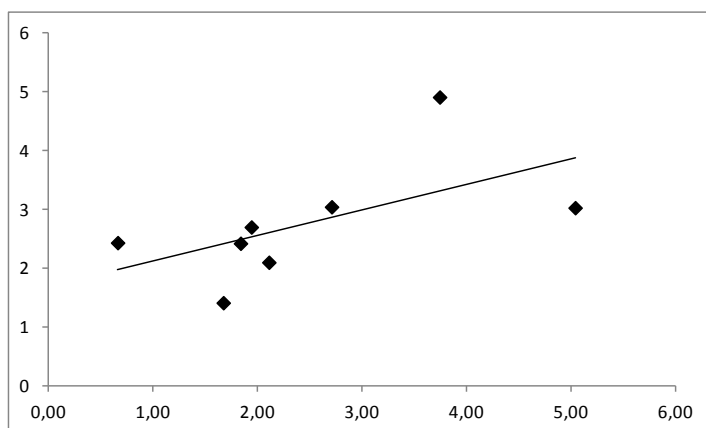


Figura AE.12 a. Europa. Relación espacial entre factores de aumento de PIB total y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año) entre los lapsos temporales AA-CC. Rumania; Alemania (Alemania, Polonia, República checa; Eslovaquia); Francia (Francia, Bélgica, Holanda, Luxemburgo); Islas Británicas (Irlanda, Reino Unido); Península Escandinava (Suecia, Noruega, Finlandia); Península Ibérica (España, Portugal); Región de los Alpes (Suiza, Austria); Italia.

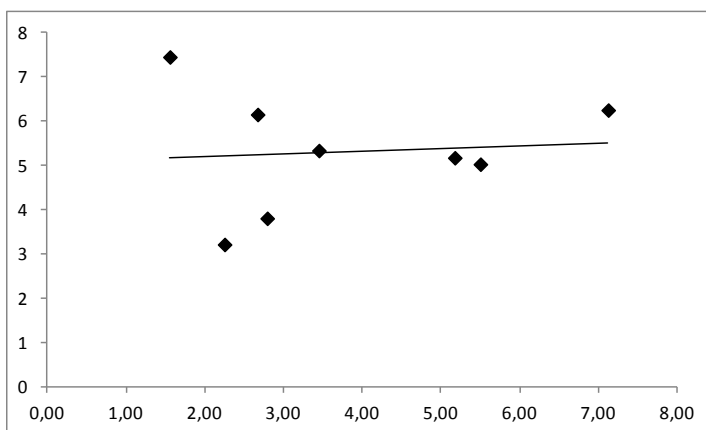


Figura AE.12 b. Europa. Relación espacial entre factores de aumento de PIB total y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año) entre los lapsos temporales CC-DD. Rumania; Alemania (Alemania, Polonia, República checa; Eslovaquia); Francia (Francia, Bélgica, Holanda, Luxemburgo); Islas Británicas (Irlanda, Reino Unido); Península Escandinava (Suecia, Noruega, Finlandia); Península Ibérica (España, Portugal); Región de los Alpes (Suiza, Austria); Italia.

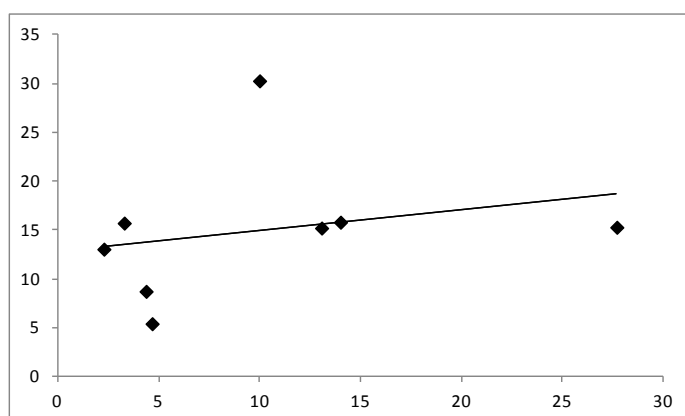


Figura AE.12 c. Europa. Relación espacial entre factores de aumento de PIB total y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año) entre los lapsos temporales AA-DD. Rumania; Alemania (Alemania, Polonia, República checa; Eslovaquia); Francia (Francia, Bélgica, Holanda, Luxemburgo); Islas Británicas (Irlanda, Reino Unido); Península Escandinava (Suecia, Noruega, Finlandia); Península Ibérica (España, Portugal); Región de los Alpes (Suiza, Austria); Italia.

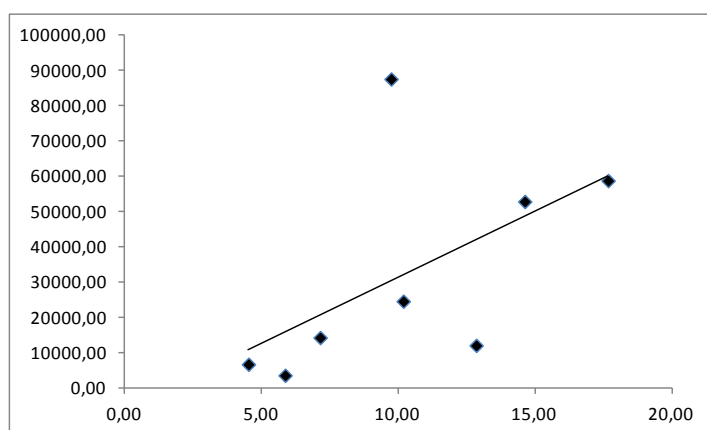


Figura AE.13. Relación espacial entre PIB total normalizado mediante el cociente con su factor de aumento (10^6 dólares Geary-Khamis a valores constantes de 1990 / FA^2) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año) en las siete zonas estudiadas. Rumania; Alemania (Alemania, Polonia, Eslovaquia, República Checa); Región de los Alpes (Suiza, Austria); Francia (Francia, Bélgica, Holanda, Luxemburgo); Islas Británicas; Italia; Península Escandinava; Península Ibérica.

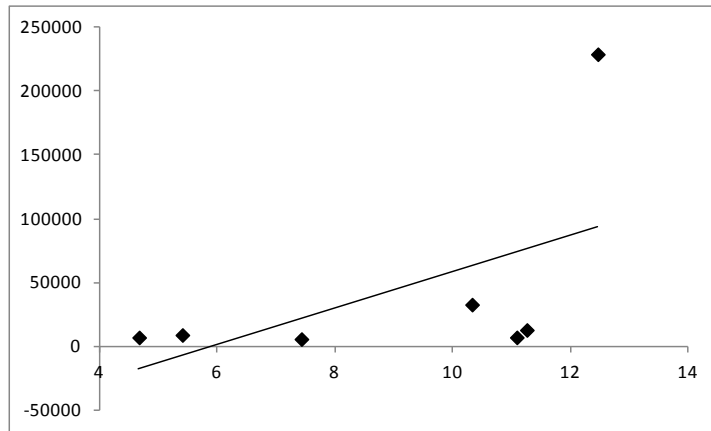


Figura AE.14. Relación espacial entre PIB total / Cuadrado de su factor de aumento entre CC-DD (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990 / FA^2) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año) en las distintas zonas estudiadas. China, India, Europa, Australia, Estados Unidos, Norte de España, Cuenca del río de La Plata.

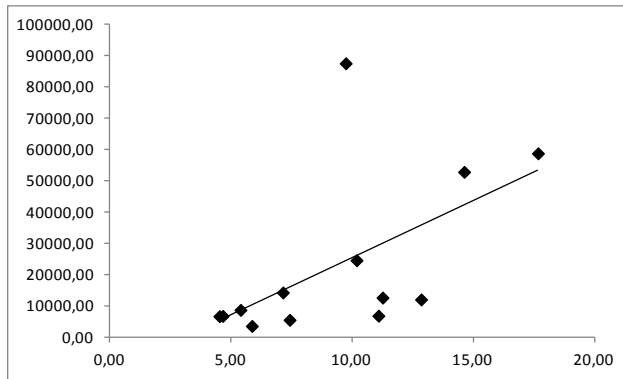


Figura AE.15 a. Relación espacial entre PIB total / Cuadrado de su factor de aumento entre CC-DD (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990 / FA^2) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año) en todas las zonas estudiadas. China; India; Australia; Estados Unidos; Rumania; Alemania (Alemania, Polonia, República Checa, Eslovaquia); Francia (Francia, Bélgica, Holanda, Luxemburgo); Islas Británicas (Irlanda, Reino Unido), Península Escandinava (Suecia, Noruega, Finlandia); Península Ibérica (España, Portugal); Región de los Alpes (Suiza, Austria), Italia; Norte de España; Cuenca del río de La Plata.

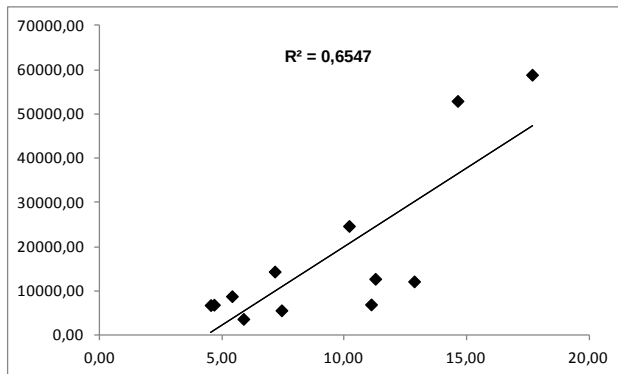


Figura AE.15 b. Relación espacial entre PIB total / Cuadrado de su factor de aumento entre CC-DD (10^6 dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990 / FA^2) y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos (mm/año) en todas las zonas estudiadas excluyendo Estados Unidos. China; India; Australia; Rumania; Alemania (Alemania, Polonia, República Checa, Eslovaquia); Francia (Francia, Bélgica, Holanda, Luxemburgo); Península Escandinava (Suecia, Noruega, Finlandia); Península Ibérica (España, Portugal); Región de los Alpes (Suiza, Austria), Italia; Norte de España; Cuenca del río de La Plata.

3.4. Evolución de los desastres naturales

3.4.1. Antecedentes y planteamiento del problema

El análisis de la evolución temporal de los desastres naturales ligados a procesos geológicos superficiales y su posible relación con la modificación de la superficie terrestre por las actividades humanas se inició con motivo del Trabajo de Fin de Master (Forte, 2011). En la introducción de dicho trabajo se señalaba que se pretendía: “...*hacer un análisis de las relaciones, a nivel global, entre agentes humanos y naturales y procesos geomorfológicos, de modo que ayuden a determinar las tendencias de variación existentes en la ocurrencia de los riesgos naturales relacionados con ellos y la influencia que dichos agentes puedan tener.*”, y que se concebía como un primer paso hacia la elaboración de la tesis doctoral. La idea era comprobar si la posible aceleración global de los procesos geomorfológicos estaba dando lugar a un aumento de la frecuencia o de la intensidad de desastres debidos a procesos tales como deslizamientos e inundaciones y, caso de que dicho aumento existiese, qué factor o factores podrían explicar el mismo.

Se señalaba que la creciente modificación de las características y procesos geomorfológicos del planeta (Slaymaker et al., 2009) parece tener un reflejo en las amenazas y riesgos de tipo “hidrogeomorfológico” (Cendrero et al., 2011). Distintos trabajos realizados sobre el desarrollo temporal de deslizamientos en la Cornisa Cantábrica (Remondo, 2001; Remondo et al, 2004, 2005 a, b), mostraron notables aumentos de dichos procesos. El aumento observado en las tasas de deslizamientos, no pudo explicarse por las variaciones climáticas registradas, pero mostró una correlación estadísticamente significativa con el aumento del PBI en la región estudiada (Remondo et al, 2005b). Trabajos posteriores (Cendrero et al., 2010; Bruschi et al., 2013 a, b; Forte et al., 2015) han aportado resultados coherentes con lo anterior. La expansión urbana, de las actividades mineras, la deforestación, el avance de fronteras agropecuarias, ampliación de áreas ocupadas por cultivos en hilera, etc., reducen de manera significativa la resistencia y cohesión de la capa superficial del terreno, y aumentan la tasa de escorrentía, lo que podría estar dando lugar a un aumento de los deslizamientos y de las inundaciones (Tu et al, 2005; Brath et al, 2006; Wheeler y Evans, 2009; Petrow y Merz, 2009; Herget y Meurs, 2010; Schumm y Lichty, 1963; Fuller, 2008; Bruschi et al., 2012, 2013 a). El resultado final de esos cambios de uso del territorio podría ser un aumento de la sensibilidad de la

superficie terrestre ante el principal agente físico de los procesos citados, que son las precipitaciones intensas. Esto es, si el modelo conceptual que constituye la base de la hipótesis de trabajo de esta tesis (Fig. DN.1; que es repetición de la figura I.2) fuera correcto, debería existir una relación entre variables independientes tales como PIB y precipitaciones (aunque estas en parte son dependientes del anterior) y variables dependientes que son expresión de la intensidad de los procesos geomorfológicos tales como la frecuencia/intensidad de inundaciones y deslizamientos.

Para tratar de comprobar lo anterior, se ha recopilado información a nivel global sobre la frecuencia de los desastres debidos a inundaciones y deslizamientos, así como sobre indicadores relacionados con la intensidad de la acción humana sobre la superficie terrestre y sobre precipitaciones. A través del análisis que ahora se presenta, que incorpora y completa los resultados anteriores (Forte, 2011), se ha intentado cubrir tres objetivos principales. El primero es determinar si las tendencias de variación temporal de los desastres naturales debidos a inundaciones y deslizamientos son similares o diferentes a las tendencias que muestran los desastres debidos a otros procesos. El segundo, si la frecuencia de los citados desastres muestra una aceleración en las últimas décadas. El tercero, dilucidar si hay o no relaciones entre los procesos anteriores y los principales impulsores naturales y humanos, entendiendo por tales las precipitaciones en el caso de los primeros y la modificación del territorio para los segundos. Se ha tratado de cubrir un periodo de aproximadamente un siglo, si bien para determinadas variables y zonas del mundo no se pueden obtener datos para periodos superiores a 50 años, y a veces menos. En síntesis, se intenta aportar datos que ayuden a dilucidar si el aumento de los desastres naturales se explica sobre todo por el “cambio climático” o por el “cambio geomorfológico”.

3.4.2. Metodología

Los fundamentos del procedimiento utilizado para el análisis que a continuación se presenta se han expuesto en el apartado en el que se describe la metodología general. Dicho procedimiento se ha basado en la realización de predicciones a partir el modelo de la figura DN.1, y su posterior comprobación por medio de comparaciones y correlaciones entre las variables independientes y dependientes consideradas. Repetimos a continuación el razonamiento presentado en el citado apartado.

Si la hipótesis planteada es correcta, un aumento del PBI (o de otros indicadores que sirvan para informar de manera directa o indirecta del grado de modificación del territorio por acciones humanas), debería dar lugar a un aumento de la frecuencia o intensidad de los desastres debidos a procesos “hidrogeomorfológicos” (procesos geológicos superficiales, causados por la interacción entre las precipitaciones y el terreno).

Ahora bien, es esperable que, a medida que avanza el tiempo y aumenta el PBI, se produzca un aumento de la frecuencia de todos los tipos de desastres naturales que se recogen en las bases de datos. En primer lugar, el crecimiento del PBI implica un avance en muy distintos sectores y actividades de las sociedades, entre ellas la recopilación de datos sobre desastres. Esto puede dar lugar a un aumento meramente estadístico del número de desastres incluidos en las bases de datos, no a una mayor frecuencia real de los mismos.

En segundo lugar, las bases de datos citadas recogen solamente aquellos eventos naturales que se consideran como “desastres”; esto es, que dan lugar a pérdida de vidas o daños materiales significativos. Un evento natural de gran magnitud que no produzca daños (por ejemplo, un terremoto o una inundación en una región deshabitada) no se reflejaría en esas bases de datos. Pero la producción de daños (riesgo), como es bien sabido, es función de tres factores: $R = f(H, E, V)$; siendo H la peligrosidad, E la exposición y V la vulnerabilidad. El crecimiento del PBI (total, no *per capita*) va unido a un aumento de la población, edificios, infraestructuras, actividades económicas de todo tipo, etc. en el territorio, lo que representa un aumento de la exposición y, por tanto, de la probabilidad de que un evento natural violento dé lugar a daños y se catalogue como desastre. Aumentaría así la frecuencia de desastres (R) aunque no variase la de eventos naturales peligrosos (H). Ambos hechos afectan a todos los desastres.

En tercer lugar, el aumento del PBI total ha estado unido a un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y consiguiente cambio climático. Una de las manifestaciones de dicho cambio parece ser una mayor frecuencia de episodios climáticos extremos, entre otros las lluvias intensas. Este factor debería reflejarse en un aumento de la frecuencia de los desastres de tipo climático y de tipo hidrogeomorfológico, pero no de los debidos a procesos internos. Si las medidas propuestas por el IPCC (2013) se implantan de manera generalizada, es posible que en el futuro se produzca un desacoplamiento

entre PBI y cambio climático, pero eso no afecta al análisis que aquí se presenta, basado en las tendencias del último centenar de años.

Finalmente, mayor PBI va unido a más construcciones de todo tipo, expansión de infraestructuras, actividades mineras, agrícolas y forestales, etc., y todas ellas producen una importante transformación del territorio, que parece estar disminuyendo su resiliencia ante agentes desestabilizadores. Si el modelo propuesto es correcto, eso afectaría a la frecuencia de los desastres de tipo hidrogeomorfológico, pero no a los estrictamente climáticos ni a los de origen interno.

Por tanto, a partir de la hipótesis de trabajo y de las consideraciones anteriores es de esperar que: a) la frecuencia de los desastres naturales que recogen las bases de datos aumente con el tiempo de manera general, pero lo haga en mayor medida para los de tipo hidrogeomorfológico (afectados por los cuatro factores indicados) y en menor medida para los debidos a procesos internos (afectados solamente por los dos primeros); b) la mejor correlación entre variable independiente (PBI) y variable dependiente (frecuencia de desastres), se dé en el caso de los desastres hidrogeomorfológicos y la peor en el de los causados por procesos internos.

Además de las predicciones anteriores, que se refieren a la evolución temporal de los desastres, se puede hacer otra sobre la distribución espacial de los mismos. Dicha predicción se puede formular como: “a igualdad de otros factores, la frecuencia de desastres debidos a procesos geológicos superficiales debería estar relacionada con la intensidad de la transformación del territorio por actividades humanas”. Para comprobar esta predicción es preciso contar con algún indicador que permita expresar el grado de transformación del territorio.

A fin de realizar los análisis correspondientes y de acuerdo con lo presentado más arriba, se han agrupado los datos relativos a los distintos desastres en tres categorías: hidrogeomorfológicos (“floods and related”, que incluyen inundaciones y distintos tipos de deslizamientos), climáticos (“climate”, que agrupan sequías, olas de frío y calor, lluvias intensas, tormentas, etc.); geológicos (“geologic”, correspondientes a terremotos y erupciones volcánicas).

Para comprobar las predicciones formuladas, se han realizado comparaciones y correlaciones a partir de datos sobre distribución y variación temporal de las variables que se han indicado, a niveles global, continental y por regiones del mundo. Los datos utilizados se han extraído

de dos fuentes principales: la literatura científica y distintas bases de datos del ámbito global o nacional, ambas relacionadas en el capítulo de *Referencias*. Se han obtenido datos sobre diferentes variables.

Para los análisis temporales:

- -Frecuencia de desastres por inundaciones y deslizamientos (desastres “hidrogeomorfológicos”). Se ha obtenido en parte de la literatura, pero sobre todo de bases de datos (UN-ISDR, OFDA-CRED, EM-DAT, ADCR, DFO, DesInventar, Geologic Hazards Landslides). La cobertura de alguna de estas bases de datos es global, pero la cantidad y calidad de los datos varían mucho de unas zonas del mundo a otras, existiendo algunos lugares para los que no existe casi información. La cantidad y calidad de los datos es bastante satisfactoria con respecto a la frecuencia, pero mucho menos con respecto a la magnitud.
- -Frecuencia de desastres por terremotos y erupciones volcánicas, así como sobre sequías y tormentas. Estos datos, reflejo de procesos que no se ven influenciados por la actividad humana (excepto, de manera indirecta, los riesgos climáticos), se han obtenido a partir de bases de datos (EM-DAT) y tienen cobertura global. Los datos sobre estos procesos se han utilizado para hacer comparaciones con los relativos a los procesos anteriores, con fines de control.
- -Producto Interno Bruto (PIB). Los datos primarios se han obtenido para países (Historical Statistics of the World Economy, 2011; Bolt y van Zanden, 2013), y posteriormente se han agrupado por regiones del mundo o continentes. Cobertura global.
- -Precipitaciones. Los datos en bruto obtenidos proceden de (GPCC, 2011) y se refieren a una cuadrícula de 2,5 x 2,5 grados. También se han utilizado las síntesis del IPCC (2007, 2013). Cobertura global.

Para el análisis espacial:

- -Índice de Degradación de Tierras. Se han obtenido los datos relativos al “Land Degradation Index” de FAO, que es una

expresión del grado de modificación de la superficie terrestre por actividades humanas de distinto tipo, que puede tener relación con la intensidad de los procesos geomorfológicos. Los datos se han obtenido por países y la cobertura es global (FAOSTAT, <http://apps.fao.org>).

Los análisis efectuados a partir de los datos indicados se indican a continuación.

Análisis temporal.

- Variación temporal de la frecuencia de desastres debidos a inundaciones y deslizamientos, para países y regiones.
- Variación temporal de la frecuencia de desastres debidos a terremotos y erupciones volcánicas, así como los de tipo estrictamente climático, para países y regiones.
- Correlación de la frecuencia de los desastres naturales de distintos tipos y el PIB, para países y regiones del mundo, a lo largo del periodo de análisis.
- Comparación de la frecuencia de los desastres naturales de distintos tipos y las precipitaciones, para países o regiones, a lo largo del periodo de análisis.

Análisis espacial.

- Comparación y correlación de la frecuencia de desastres de tipo hidrogeomorfológico con el grado de degradación del territorio, expresado por medio del “Land degradation index (LDI)”.

3.4.3. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a través de los análisis indicados anteriormente.

Análisis temporal.

Para comprobar si, como se ha planteado a partir la hipótesis de trabajo, el aumento de los desastres naturales debidos a procesos geológicos superficiales obedece en mayor medida a causas humanas que

a causas climáticas, se ha analizado la evolución temporal de la frecuencia de desastres debidos a inundaciones, deslizamientos, tormentas/sequías, terremotos y volcanes en las grandes regiones del mundo establecidas por EM-DAT (www.em-dat.net) y para las cuales dicho centro ha recogido datos a nivel mundial. Como es natural, los datos son escasos o de baja calidad para algunos países. En la mayoría de las regiones eso no representa una dificultad significativa, por disponerse, en conjunto, de datos adecuados, pero en unas pocas esa circunstancia afecta a una proporción apreciable de los países incluidos, y se ha estimado aconsejable eliminarlas del análisis. Los datos anteriores se han comparado o correlacionado con los relativos a PIB (total, no “per capita”), precipitaciones o LDI para las mismas regiones. Los mismos análisis se han realizado agrupando las regiones por continentes.

Un examen inicial de las gráficas de variación de los distintos tipos de desastres naturales por regiones del mundo (figura DN.2), por continentes (figura DN.3) y para el conjunto del planeta (figura DN.4) muestra que, en general, los desastres que más han aumentado son los de tipo hidrogeomorfológico, y los que menos los de tipo geológico. En el caso de las regiones esto se cumple en la mayoría de los casos, pero hay excepciones. El grado de correspondencia entre lo previsto y lo que muestran los datos es mucho mejor cuando se consideran los continentes, y todavía mejor para el conjunto del planeta. Esto es razonable; a medida que disminuye el tamaño de la unidad de análisis (y, por tanto, la población de eventos considerada) aumenta la probabilidad de desviaciones con respecto a la tendencia principal. Además, las tendencias de variación de los desastres de tipo hidrogeomorfológico son muy similares a las que presenta la variación del PIB por regiones (figura DN.5), continentes (figura DN.6), y el mundo (figura DN.7). También en este caso la correspondencia es tanto mejor cuanto mayor es la unidad de análisis.

En un paso siguiente, se ha realizado la correlación entre ambas series de datos para distintas regiones del mundo. En las tablas DN.1 a-d, se presentan los datos relativos a las correlaciones entre las series temporales de datos sobre el PIB y los diferentes desastres naturales, agrupados en las tres categorías antes citadas: geológicos internos, e hidrogeomorfológicos. Se ha utilizado para este análisis la regresión lineal simple. Las correlaciones se han realizado de manera directa entre ambos tipos de series y también con desplazamientos de 5 y 10 años del PIB con respecto a los desastres. Esto último, se ha realizado con el objetivo de determinar si las modificaciones del terreno (causa) que presumiblemente sean

consecuencia del crecimiento económico y poblacional, se manifiestan en los procesos geomorfológicos (efecto) con un cierto desfase temporal, como cabría de esperar. El mismo tipo de correlaciones se han realizado para los continentes (Tabla DN.2). En la figura DN.8, se presentan las gráficas de dispersión correspondientes a la comparación directa entre series (sin desfase temporal).

Los resultados que se presentan en las tablas DN.1 a-d muestran que, en todas las regiones consideradas, salvo en tres, los mejores coeficientes de correlación entre PIB y frecuencia de desastres corresponden a los debidos a procesos de tipo hidrogeomorfológico, y que esos coeficientes alcanzan valores superiores a 0,5, siendo en la mayoría de los casos 0,7-0,9. En dos de los tres casos en los que no muestran la mejor correlación, las diferencias con el coeficiente más alto son muy poco significativas.

Cuando se consideran los continentes en su conjunto (tabla DN.2), la situación es muy similar, si bien los coeficientes de correlación mejoran, como era de esperar. Aparece aquí también una excepción, el caso de Europa. Esto se debe a la contribución de la región de Europa oriental (tabla DN.1d), la que mayor discrepancia presenta con respecto al comportamiento esperado. Es de destacar el caso de Australia/Nueva Zelanda que, aunque también presenta la mejor correlación para los desastres de tipo hidrogeomorfológico, muestra coeficientes de correlación notablemente más bajos que otros continentes para todos los tipos de desastres. En este caso hay que tener presente, no obstante, que la frecuencia de desastres de todo tipo (de acuerdo con lo recogido en las bases de datos utilizadas) es mucho más baja que en otras regiones del mundo, por lo que los resultados para esta zona se deben considerar con bastantes reservas. Por ello, este continente/región no se ha incluido en los análisis que aquí se presentan, salvo lo que se muestra en la tabla DN.2.

Los valores del coeficiente de correlación con adelantos del PIB de 5 y 10 años con respecto a los desastres muestran resultados muy variables (tablas DN.1 y DN.2). En 8 regiones se aprecia una mejora de la correlación en el caso de los desastres hidrogeomorfológicos con un desfase de 5 años; esa correlación empeora en 4 regiones y en 5 no muestra cambio significativo. Para los desastres climáticos los resultados son, respectivamente, 4, 9 y 4. Finalmente, en el caso de los desastres debidos a procesos geológicos internos se obtiene 1, 13 y 3. Cuando el desfase es de 10 años la correlación empeora, aunque no significativamente, en la mayoría de los casos para los diferentes procesos.

La interpretación que se deriva de los datos anteriores es que, en efecto, la alteración de la superficie terrestre derivada de las distintas actividades humanas, para la cual el PIB es un indicador significativo, parece ser un factor de importancia para el aumento de los desastres debidos a deslizamientos e inundaciones. El hecho de que la correlación solo muestre alguna mejora en el caso de los desastres debidos a procesos geológicos superficiales apunta, aunque de manera no demasiado clara, a una relación causa-efecto. Por otro lado, parece que las modificaciones de la superficie terrestre que puedan derivarse del aumento del PIB, se dejan sentir en los procesos geológicos superficiales en lapsos de tiempo cortos (poco más de 5 años). Esto se pone de manifiesto por el hecho de que el mejor coeficiente de correlación en la mayoría de las zonas se obtiene cuando se considera un desfase de 5 años, y en menor medida sin desfase, lo que no ocurre con los otros tipos de desastres.

Como se ha puesto de manifiesto en un apartado anterior (3.2), es posible que la tasa o ritmo de crecimiento de la actividad humana, y la consiguiente modificación de la superficie terrestre, pueda ser más significativa, en lo que se refiere a los procesos geológicos superficiales, que su modificación total. Esta es resultado de toda la actividad anterior y da lugar en gran parte a situaciones que, aunque artificiales, estén consolidadas desde el punto de vista geomorfológico. Por ello, se ha tratado de analizar la posible relación entre los factores de aumento del PIB y de la frecuencia de los desastres.

El factor de crecimiento se ha calculado de acuerdo con la expresión:

$$\frac{N^{\circ} \text{ desastres/año o PIB/año (última década)}}{N^{\circ} \text{ desastres/año o PIB/año (total período anterior)}}$$

En la tabla DN.3 se presentan los datos relativos al factor de crecimiento de los desastres a lo largo del periodo cubierto en cada caso, el factor de aumento del PIB y el coeficiente de correlación entre ambos. Naturalmente, el periodo cubierto no es el mismo en todas las regiones del mundo, pero sí lo es para todos los desastres en cada una de ellas y para los países que las integran, por lo que la comparación es significativa.

El análisis de los factores de aumento de los distintos tipos de desastres (frecuencia en la última década en comparación con la frecuencia de periodos anteriores) también es ilustrativo. Se aprecia que, en general, ese aumento ha sido más acusado para los procesos geológicos superficiales, algo menos para los procesos estrictamente climáticos y todavía menos para los geológicos internos, como cabía esperar, si bien hay algunas excepciones. La más notable es Europa occidental, en la cual el factor de aumento de los desastres climáticos es muy superior al de los demás. Esto posiblemente se deba, por un lado, a la escasa incidencia de los procesos geológicos internos en esa región y, por otro lado, al hecho de que es una región con alto nivel de desarrollo, en la cual desde hace décadas se han puesto en marcha medidas de mitigación de riesgos que, evidentemente, son eficaces en el caso de los procesos hidrogeomorfológicos, pero no en el caso de las tormentas y sequías. El mismo razonamiento es aplicable al caso de América del N. La otra excepción es el Caribe, en el cual los huracanes y tornados tienen una especial incidencia (al igual que en el E de los EEUU), también con muy limitadas posibilidades de mitigación.

Si se analiza la correlación entre los factores de aumento de los desastres naturales y los del PIB para los mismos periodos, se observa que el coeficiente de correlación es mayor para los desastres de tipo hidrogeomorfológico que para los demás en todos los continentes menos en Europa, siendo la explicación más plausible la ya apuntada precedentemente. Los coeficientes de correlación son muy bajos para todos los procesos en el caso de África, lo cual podría tener relación con la calidad de los datos, pero esto es algo que con los datos hasta ahora obtenidos no se puede afirmar con seguridad. Es interesante señalar que, si el análisis se centra en Asia y América (excluida N América), los coeficientes de correlación son del orden de 0,9 o mayores. Es precisamente en estas regiones, donde se ha producido en los últimos 50 años, un crecimiento más acusado del PIB (total, no *per cápita*), pero todavía no unido a un grado significativo de “domesticación” del territorio, que se traduzca en la implantación de medidas de mitigación de desastres. Esto es coherente con el modelo. La actividad humana influye en mayor medida sobre los procesos geológicos superficiales, y ese crecimiento de los mismos podría estar reflejando el *cambio geomorfológico global*. Ahora bien, la influencia humana sobre estos procesos no tiene por qué ser negativa en todos los casos. Es bien conocido que es posible poner en marcha medidas de tipo preventivo y correctivo sobre deslizamientos e inundaciones, cosa que se está haciendo desde hace tiempo en los países más industrializados.

Análisis espacial.

También se ha tratado de determinar, si existe alguna relación entre el nivel de degradación del territorio y la ocurrencia de desastres naturales debidos a procesos hidrogeomorfológicos. Para analizar estas posibles relaciones, se ha acudido a comparar el "Land Degradation Index" (LDI de FAO; FAOSTAT) y la incidencia de los citados desastres en distintos países y regiones. El LDI es un índice ponderado que se calcula para los países y expresa en forma de porcentaje el nivel de degradación del territorio, en cuatro niveles, "very severe", "severe", "moderate" y "light". Si el modelo propuesto es correcto, la ocurrencia de los desastres naturales en un territorio dado debería ser tanto mayor cuanto más elevado sea el LDI del mismo (a igualdad de otros factores).

El análisis se ha realizado considerando dos parámetros para expresar la incidencia de los desastres: número de desastres normalizado (N° desastres/km²/año, para la última década) y factor de aumento de los desastres. La normalización es necesaria para la comparación con el LDI, que al expresarse para países corresponde a unidades de análisis de extensiones muy diferentes. Los dos parámetros utilizados para evaluar la respuesta geomorfológica del territorio están claramente relacionados, pero poseen significados algo distintos. En el primer caso, cabe esperar que, en el momento "actual" (entendiendo por tal a los últimos 10 años), cuanta mayor proporción de superficie degradada exista en un país, más frecuentes serán los desastres. Ahora bien, tal vez sea más significativo el grado en el que esos desastres han aumentado en el tiempo (independientemente de su frecuencia al inicio del periodo considerado), en función de la degradación experimentada por el territorio, que en una proporción muy alta corresponde a las últimas 2-3 décadas. Eso es lo que se trata de analizar a través del segundo indicador.

En las tablas DN.4 a-d se presentan los resultados para la correlación entre Índice de Degradación de Tierras y frecuencia de desastres hidrogeomorfológicos, para distintas regiones. La tabla DN.5 resume los resultados por continentes y la tabla DN.6 la correlación entre LDI y factor de aumento de los desastres, también por continentes. En la primera columna de las tablas DN.5 se incluyen todos los países del continente que figuran en las bases de datos, en la segunda solamente aquellos para los que se han registrado al menos 5 desastres debidos a procesos geológicos superficiales en la década y en la tercera los que registraron 10 o más. Esto se ha hecho porque los países con poca

frecuencia de los procesos o incompleta recopilación de datos pueden distorsionar la muestra. La figura DN.9 muestra los diagramas de dispersión correspondientes a las correlaciones LDI/Nº desastres km².

Según se observa, en América, África y Europa, existe una correlación positiva entre la frecuencia de los desastres hidrogeomorfológicos en los últimos 10 años, y el porcentaje de territorio degradado, correlación que claramente mejora cuando se consideran solamente los países con un número apreciable de desastres en la década. En el caso de Asia, la correlación es negativa en todos los casos. Con los análisis realizados hasta el momento no es posible interpretar si esto puede deberse a una insuficiencia de los datos o a que la variable más significativa en esta región sea otra.

Las correlaciones entre índice de degradación y factor de aumento de la frecuencia de desastres hidrogeomorfológicos, muestran resultados a grandes rasgos similares (Tabla DN.6). En este caso la imagen es más difusa, ya que en muchos países existen importantes dudas con respecto a la calidad de los registros correspondientes a periodos superiores a unas pocas décadas. Por ello, el análisis se ha hecho considerando todos los países de cada continente y, también, eliminando aquellos países que o bien tienen un número muy pequeño de desastres o bien presentan serias dudas con respecto a la calidad de los registros (y, por tanto, la posibilidad de calcular el factor de aumento). Se señala, no obstante, que esto introduce un cierto sesgo en la muestra. Nuevamente, los datos presentados apuntan a una relación significativa entre degradación de tierras e incidencia de los desastres causados por los procesos geológicos superficiales. No obstante, esto ha de tomarse con cierta cautela pues, aunque la selección realizada incluye en todos los casos una parte muy significativa de los países para los cuales hay datos (al menos el 50% de los mismos), no es una selección tan automática y objetiva como la realizada en el caso anterior, y podría incluir un sesgo que distorsione el análisis.

Lo anterior, pone de manifiesto que los dos parámetros utilizados para expresar la degradación física del territorio (que es para lo que está concebido el LDI) proporcionan resultados similares, que sugieren una relación real, no meramente casual, entre las variables utilizadas. En conjunto, la imagen que se extrae de estos resultados es la de una clara relación entre nivel de degradación de la superficie terrestre y ocurrencia de desastres hidrogeomorfológicos, coherente con el modelo propuesto.

Es muy digno de destacar que estos resultados, apoyados en un indicador construido a partir de datos que expresan la realidad física de la degradación del territorio, proporcionados por una fuente de naturaleza distinta (FAO), llevan a conclusiones análogas a los presentados más arriba (Fig. DN.8 y Tablas DN.1, 2, 3). Estos últimos se basan en un indicador indirecto de la influencia humana sobre el territorio, de tipo socioeconómico, obtenido a partir de una fuente diferente (Historical Statistics for the World Economy). Parece poco probable que la coincidencia sea casual y no refleje una relación real.

Comparación con impulsores naturales.

Por último, se ha realizado una comparación entre las gráficas de lluvias para distintas regiones del mundo (IPCC, 2007; 2013), que se muestran en la figura DN.10, y las de desastres (Fig. DN.2). En este caso no se dispone de series temporales de datos que hayan permitido realizar correlaciones. La simple observación de las figuras, no obstante, muestra que difícilmente se pueden atribuir las tendencias de variación en los segundos a las primeras (naturalmente, las lluvias sí determinan el momento en el que ocurren los procesos). Lo mismo parece deducirse de la magnitud de las variaciones. Si se observan las variaciones de las precipitaciones para las regiones consideradas por el IPCC, en el periodo 1950 – 2000, se aprecia que en 6 regiones hubo disminución o estabilidad de las precipitaciones y en 9 aumentos. Dentro de las regiones en las que hubo aumentos, solamente en el centro de Norteamérica y el sur de Sudamérica se alcanzan variaciones del orden del 10%. Esto es, la magnitud de los aumentos, cuando han ocurrido, ha sido claramente muy inferior a la de la frecuencia de los desastres de tipo hidromeorfológico para el mismo periodo, que en el mismo lapso de tiempo muestran factores de aumento de 5-15 en las distintas regiones de África, de 4-40 en Asia, de 3-20 en Europa y de 5-20 en América. No obstante, para afirmar esto con más seguridad, será preciso hacer un análisis más detallado de las posibles relaciones entre precipitaciones, especialmente frecuencia y magnitud de episodios extremos, y frecuencia de desastres debidos a procesos geológicos superficiales, que por el momento no se ha podido realizar.

Recapitulación.

El conjunto de los resultados obtenidos muestra un aumento de los desastres causados por procesos geológicos superficiales, que es claramente superior al de otros tipos de desastres. También, que no parece existir relación entre las tendencias de variación de dichos desastres y las de las precipitaciones. Por otro lado, los parámetros indicativos de la alteración potencial (PIB) o real (LDI) de la superficie terrestre por las acciones humanas muestran en general correlaciones positivas, en muchos casos con altos coeficientes de correlación, que sugieren fuertemente que esa alteración es probablemente el factor más determinante (por supuesto, no el único) en la evolución que los procesos geológicos superficiales han experimentado desde mediados del pasado siglo.

De confirmarse lo que aquí se ha presentado, se abre una interesante posibilidad. Según se ha comentado, parece existir un acoplamiento entre PIB y huella geomorfológica humana. También, entre esta e intensidad de los procesos geomorfológicos, que se manifiesta en un aumento de la generación de sedimentos y la frecuencia de desastres. Esto es algo similar a lo que ocurre con otras manifestaciones del cambio global, concretamente el cambio climático. En este último, hay un acoplamiento “PIB/emisiones de gases de efecto invernadero” y “emisiones de gases de efecto invernadero/cambio climático”. Los acuerdos internacionales (Kyoto, 1997; París 2015) en este ámbito van encaminados, precisamente, a lograr un desacoplamiento entre actividad económica y clima, promoviendo modelos de desarrollo que permitan el crecimiento de la primera sin que se vea afectado el segundo. Esto también es deseable que se logre en relación con el cambio geomorfológico global. El caso de Europa posiblemente muestra que la intervención sobre el territorio puede incluir medidas que mitiguen las consecuencias no deseadas (creciente denudación, desastres “naturales”) de la modificación de los procesos geomorfológicos. Además, la mitigación del cambio geomorfológico presenta una ventaja con respecto al cambio climático, las políticas correspondientes se pueden abordar a escalas que van de la local a la nacional, y las consecuencias de las mismas se dejarían sentir en esos ámbitos, independientemente en gran medida (por supuesto, no totalmente) de lo que hagan otros países. Esto es, a diferencia del caso del clima, no serían precisos acuerdos internacionales, aunque fueran deseables.

Por tanto, una de las conclusiones que parece derivarse de los resultados que aquí se presentan, es la importancia de poner en práctica

estrategias de reducción de desastres naturales que no pongan el foco casi exclusivamente en el cambio climático (de mucho más difícil control), sino sobre la gestión del territorio, fácilmente abordable a escalas nacional y local.

3.4.4. Conclusiones

Con los resultados obtenidos hasta el momento, se pueden extraer algunas conclusiones. La primera es que las comparaciones y correlaciones realizadas entre indicadores que expresan la modificación potencial (PBI) o real (LDI) de la superficie terrestre y la frecuencia de desastres debidos a inundaciones y deslizamientos, apuntan claramente a una relación causa-efecto entre ambos. Los coeficientes de correlación obtenidos en amplias zonas del mundo, indican que esa relación parece ser muy significativa, siendo la acción humana posiblemente la variable que en mayor medida está determinando la evolución temporal de los procesos citados.

Ahora bien, en el análisis realizado, se han tomado todos los países de cada área considerada, lo que implica que se han incluido territorios de características muy diferentes en extensión, densidad de población, relieve, constitución geológica, geomorfología, clima, contexto socio-económico, calidad de los datos, etc. Por ello, las comparaciones no se están haciendo “a igualdad de otros factores”. Esto afecta especialmente al análisis espacial, y en mucha menor medida a los análisis temporales, en los que cada región se compara consigo misma. Naturalmente, la degradación del territorio, manifestación del “cambio geomorfológico” que según se ha indicado parece ser una variable significativa en la ocurrencia de los procesos que dan lugar a estos desastres, no es la única. Será necesario profundizar en este tipo de análisis, agrupando los países en conjuntos más homogéneos desde el punto de vista de los factores que pueden intervenir en los procesos analizados, no simplemente de acuerdo con el continente en el que se ubican. En esta fase del estudio, no ha resultado posible profundizar más en esta línea de investigación.

Una segunda conclusión es que las leves (y de sentidos contrarios) variaciones registradas en las precipitaciones durante el periodo analizado, no parecen explicar el gran incremento que se registra en la frecuencia de los desastres debidos a los procesos geológicos superficiales.

De confirmarse lo anterior, encontraríamos, en contra de lo que generalmente se supone, que el cambio climático no sería responsable del gran incremento que este tipo de desastres ha experimentado desde mediados del pasado siglo, sino que ese incremento sería consecuencia del cambio geomorfológico, cuya tasa de variación es muchísimo más marcada que la del anterior.

Esto nos lleva a otras consideraciones. En primer lugar, que la “Gran Aceleración” de Steffen et al. (2011, 2015), se estaría manifestando de manera muy importante en el funcionamiento de los procesos geológicos superficiales, especialmente en la frecuencia de los desastres que éstos causan. Es decir, tal como ha sido apuntado por Cendrero (2003), Remondo et al. (2005), Rivas et al. (2006) Cendrero et al. (2006), Bruschi et al. (2008), Bonachea et al. (2010), Cendrero et al. (2011), Bruschi et al. (2012, 2013 a, b), Forte et al. (2016), parece que estamos ante un “nuevo modelo de evolución geomorfológica”, propio de la etapa posterior a la Revolución Industrial, que incluye un aumento de la intensidad, frecuencia y consecuencias de episodios peligrosos y que parece ser uno de los rasgos que caracterizan al Antropoceno. Los resultados aquí presentados, así como los aportados por los citados autores, muestran que el punto de inflexión que marca el paso de uno a otro modelo se sitúa hacia mediados del siglo XX, tras el final de la Segunda Guerra Mundial. Ese punto de inflexión coincide con el de la gran mayoría de los indicadores de actividad humana o de efectos sobre el medio natural que Steffen et al. (2011), utilizan para poner de manifiesto la existencia de la “Gran Aceleración” (figura DN.11), a pesar de lo cual los citados autores proponían, como Crutzen (2002), que el inicio del Antropoceno se debería establecer a finales del siglo XVIII. En las contribuciones de Cendrero et al. (2011), Bruschi et al. (2012, 2013 a, b), Forte et al. (2016) se indicaba, a partir de este tipo de datos, que sería más adecuado establecer el inicio del Antropoceno a mitad del siglo XX. Esta es también la postura recientemente manifestada por Steffen et al. (2015) o Waters et al. (2016).

A nuestro modo de ver, el final del siglo XVIII, comienzo de la Revolución Industrial, representa el momento a partir del cual la especie humana, al adquirir la capacidad de utilizar a gran escala nuevas fuentes de energía, adquiere también *el potencial* de modificar a gran escala la naturaleza. Los datos que aquí presentamos, relativos a los desastres de tipo geomorfológico, así como los aportados en relación con los procesos

de erosión/sedimentación, muestran que *la realidad* de ese cambio es esencialmente posterior a la Segunda Guerra Mundial.

La segunda consecuencia, de índole más práctica, es que las políticas de mitigación de desastres causados por procesos geológicos superficiales, deberían centrarse sobre todo en reducir o corregir las manifestaciones del cambio geomorfológico. Esta tarea es mucho más fácilmente abordable que la reducción del cambio climático y, además, se puede realizar en ámbitos nacionales o locales. Muy probablemente, los esfuerzos en ese sentido serían más eficaces y tendrían un reflejo mucho más inmediato en los resultados.

Tabla DN.1a. Coeficientes de correlación Desastres Naturales – PIB.
Regiones de África

	DISASTER TYPE	PIB-ND (1950-2008)	PIB (1950-2005) ND (1955-2010)	PIB (1950-2000) ND (1960-2010)
EASTERN AFRICA	Drought	0,68681	0,61354	0,61171
	Earthquake (seismic activity)	0,35229	0,32839	0,28918
	Flood	0,87071	0,78790	0,75772
	Mass movement wet	0,59408	0,54901	0,52376
	Storm	0,62245	0,59458	0,57886
	Volcano	0,28334	0,21253	0,16457
	Drought + Storm	0,79188	0,73938	0,25474
	Flood + Landslide	0,87074	0,80396	0,77319
	Earthquake + Volcano	0,45004	0,39259	0,33394
MIDDLE AFRICA	Drought	-0,12575	-0,23518	-0,12503
	Earthquake (seismic activity)	0,23563	0,22002	0,03401
	Flood	0,73380	0,53973	0,40752
	Mass movement wet	-0,16601	0,20741	0,09449
	Storm	0,51994	0,40965	-0,17459
	Volcano	-0,00221	-0,29320	-0,03165
	Drought + Storm	0,16577	0,07792	-0,17362
	Flood + Landslide	0,68265	0,53619	0,39706
	Earthquake + Volcano	0,16477	-0,11189	-0,00537
NORTHERN AFRICA	Drought	0,10089	0,06509	0,00263
	Earthquake (seismic activity)	0,16064	0,15520	0,20210
	Flood	0,67534	0,69352	0,69321
	Mass movement wet	0,02769	0,01167	-0,00685
	Storm	0,43695	0,42077	0,41366
	Volcano			
	Drought + Storm	0,34560	0,30989	0,26456
	Flood + Landslide	0,68622	0,69531	0,69407
	Earthquake + Volcano	0,17622	0,15520	0,20210
SOUTHERN AFRICA	Drought	0,19461	0,05035	0,00036
	Earthquake (seismic activity)	0,10017	0,02410	-0,01418
	Flood	0,56583	0,53534	0,52569
	Mass movement wet	0,08079	0,06932	0,08527
	Storm	0,43285	0,49976	0,49060
	Volcano			
	Drought + Storm	0,43333	0,41268	0,38106
	Flood + Landslide	0,56429	0,53479	0,52711
	Earthquake + Volcano	0,10017	0,02410	-0,01418
WESTERN AFRICA	Drought	-0,06590	-0,08017	-0,14640
	Earthquake (seismic activity)	-0,06592	-0,02526	-0,02875
	Flood	0,82564	0,83996	0,80515
	Mass movement wet	0,10728	0,32177	0,32270
	Storm	0,32820	0,34268	0,33974
	Volcano	0,05143	0,04820	0,03944
	Drought + Storm	0,11966	0,12147	0,05686
	Flood + Landslide	0,81839	0,83434	0,80074
	Earthquake + Volcano	-0,01037	0,01640	0,00765

Tabla DN.1 b. Coeficientes de correlación Desastres Naturales – PIB.
Regiones de América.

	DISASTER TYPE	PIB-ND (1950-2008)	PIB (1950-2005) ND (1955-2010)	PIB (1950-2000) ND (1960-2010)
CARIBBEAN	Drought	0,12938	0,22990	0,19701
	Earthquake (seismic activity)	0,34424	0,38560	0,34421
	Flood	0,56871	0,62000	0,58086
	Mass movement wet	0,08078	0,14325	0,10949
	Storm	0,55409	0,46101	0,42411
	Volcano	0,16271	0,10014	0,08516
	Drought + Storm	0,57446	0,49539	0,45518
	Flood + Landslide	0,56701	0,62408	0,58253
	Earthquake + Volcano	0,35272	0,34967	0,31074
CENTRAL AMERICA	Drought	0,37566	0,34541	0,34666
	Earthquake (seismic activity)	0,34134	0,18299	0,29638
	Flood	0,75452	0,76820	0,75936
	Mass movement wet	0,59032	0,30279	0,58852
	Storm	0,57389	0,58533	0,58906
	Volcano	0,37046	0,29340	0,27282
	Drought + Storm	0,60934	0,62334	0,62879
	Flood + Landslide	0,78136	0,79108	0,78002
	Earthquake + Volcano	0,45538	0,38976	0,38031
NORTHERN AMERICA	Drought	0,26844	0,17356	0,15463
	Earthquake (seismic activity)	0,14042	0,17347	0,13100
	Flood	0,75140	0,70639	0,67037
	Mass movement wet	0,13933	0,10468	0,05769
	Storm	0,76909	0,71102	0,68514
	Volcano	0,13521	0,09785	0,07235
	Drought + Storm	0,76992	0,70733	0,68164
	Flood + Landslide	0,75732	0,71107	0,67307
	Earthquake + Volcano	0,16240	0,18648	0,14074
SOUTHERN AMERICA	Drought	0,47627	0,54622	0,49650
	Earthquake (seismic activity)	0,25906	0,20505	0,10505
	Flood	0,78526	0,80036	0,74611
	Mass movement wet	0,31129	0,39832	0,30420
	Storm	0,53410	0,52908	0,45386
	Volcano	0,52340	0,44504	0,45153
	Drought + Storm	0,61398	0,65080	0,58218
	Flood + Landslide	0,78054	0,80844	0,74647
	Earthquake + Volcano	0,55880	0,46049	0,39788

Tabla DN.1 c. Coeficientes de correlación Desastres Naturales – PIB.
Regiones de Asia.

DISASTER TYPE		PIB-ND (1950-2008)	PIB (1950-2005) ND (1955-2010)	PIB (1950-2000) ND (1960-2010)
EASTERN ASIA	Drought	0,44285	0,40117	0,35179
	Earthquake (seismic activity)	0,81344	0,75709	0,75611
	Flood	0,85449	0,77539	0,80126
	Mass movement wet	0,47227	0,61704	0,56529
	Storm	0,80528	0,74530	0,74628
	Volcano	0,08933	0,08288	0,03484
	Drought + Storm	0,81165	0,75317	0,75061
	Flood + Landslide	0,87850	0,86532	0,87680
	Earthquake + Volcano	0,80893	0,75407	0,74876
SOUTH EASTERN ASIA	Drought	0,45121	0,38924	0,32068
	Earthquake (seismic activity)	0,58795	0,53870	0,51482
	Flood	0,88849	0,88330	0,88314
	Mass movement wet	0,71424	0,73463	0,71571
	Storm	0,80696	0,73515	0,70030
	Volcano	0,34210	0,34094	0,29624
	Drought + Storm	0,83566	0,77179	0,73672
	Flood + Landslide	0,90203	0,90202	0,90084
	Earthquake + Volcano	0,58313	0,55017	0,52134
SOUTHERN ASIA	Drought	0,09778	0,11359	0,04955
	Earthquake (seismic activity)	0,56081	0,56171	0,53403
	Flood	0,89971	0,85445	0,85860
	Mass movement wet	0,56268	0,61525	0,59696
	Storm	0,62407	0,62499	0,57777
	Volcano			
	Drought + Storm	0,60866	0,61876	0,56823
	Flood + Landslide	0,90383	0,87331	0,87645
MIDDLE ASIA	Earthquake + Volcano	0,56081	0,56171	0,53403
	Drought			
	Earthquake (seismic activity)			
	Flood			
	Mass movement wet			
	Storm			
	Volcano			
	Drought + Storm			
	Flood + Landslide			
	Earthquake + Volcano			

Tabla DN.1 d. Coeficientes de correlación Desastres Naturales – PIB.
Regiones de Europa.

	DISASTER TYPE	PIB-ND (1950-2008)	PIB (1950-2005) ND (1955-2010)	PIB (1950-2000) ND (1960-2010)
EASTERN EUROPE	Drought	0,17367	0,19432	0,20446
	Earthquake (seismic activity)	0,34313	0,25202	0,24450
	Flood	0,51476	0,36316	0,39380
	Mass movement wet	0,01712	-0,08357	0,05568
	Storm	0,53668	0,35329	0,34443
	Volcano			
	Drought + Storm	0,53636	0,37849	0,37427
	Flood + Landslide	0,49946	0,34569	0,38811
	Earthquake + Volcano	0,59350	0,39846	0,38981
NORTHERN EUROPE	Drought	0,13897	0,12267	0,08173
	Earthquake (seismic activity)	0,21054	0,11417	0,12113
	Flood	0,57624	0,57228	0,55368
	Mass movement wet	-0,14221	-0,19114	-0,23726
	Storm	0,26646	0,19134	0,18781
	Volcano	-0,09419	0,02032	0,01734
	Drought + Storm	0,28135	0,20443	0,19692
	Flood + Landslide	0,50701	0,48906	0,45550
	Earthquake + Volcano	0,11821	0,10777	0,11173
SOUTHERN EUROPE	Drought	0,37939	0,29381	0,30029
	Earthquake (seismic activity)	0,20982	0,13096	0,06800
	Flood	0,65065	0,68149	0,68015
	Mass movement wet	0,15295	0,13540	0,11144
	Storm	0,46878	0,45119	0,45753
	Volcano	0,03566	-0,02489	0,09811
	Drought + Storm	0,52436	0,48553	0,49480
	Flood + Landslide	0,65730	0,68977	0,68710
	Earthquake + Volcano	0,21211	0,12424	0,08259
WESTERN EUROPE	Drought	0,11653	0,04837	0,01765
	Earthquake (seismic activity)	0,16385	0,10196	0,07050
	Flood	0,55830	0,55757	0,56320
	Mass movement wet	-0,02762	0,06527	0,03023
	Storm	0,36777	0,34417	0,33402
	Volcano			
	Drought + Storm	0,37351	0,34701	0,33559
	Flood + Landslide	0,49994	0,50601	0,50169
	Earthquake + Volcano	0,16385	0,10196	0,07050

Tabla DN.2 a. Coeficientes de correlación Desastres Naturales – PIB.
Continentes.

	DISASTER TYPE	PIB-ND (1950-2008)	PIB (1950-2005) ND (1955-2010)	PIB (1950-2000) ND (1960-2010)
AFRICA	Drought	0,60181	0,52831	0,46261
	Earthquake (seismic activity)	0,41299	0,38014	0,36666
	Flood	0,87062	0,85898	0,84308
	Mass movement wet	0,47865	0,52148	0,50849
	Storm	0,41299	0,75887	0,73650
	Volcano	0,33624	0,25121	0,21214
	Drought + Storm	0,80163	0,77044	0,73415
	Flood + Landslide	0,86890	0,85921	0,84362
	Earthquake + Volcano	0,52066	0,45706	0,42973
AMERICA	Drought	0,59913	0,59809	0,54972
	Earthquake (seismic activity)	0,48317	0,35726	0,27043
	Flood	0,91056	0,86330	0,83700
	Mass movement wet	0,52666	0,53439	0,48052
	Storm	0,88746	0,80831	0,27043
	Volcano	0,64675	0,52015	0,47559
	Drought + Storm	0,91056	0,86330	0,83700
	Flood + Landslide	0,91770	0,87793	0,85319
	Earthquake + Volcano	0,69594	0,53726	0,46178
ASIA	Drought	0,48662	0,44814	0,38016
	Earthquake (seismic activity)	0,81723	0,78617	0,77842
	Flood	0,95594	0,92070	0,93632
	Mass movement wet	0,82019	0,86857	0,85096
	Storm	0,86575	0,82804	0,81492
	Volcano	0,37037	0,37182	0,31546
	Drought + Storm	0,85954	0,82329	0,80701
	Flood + Landslide	0,96504	0,94710	0,95965
	Earthquake + Volcano	0,82335	0,79259	0,78363
EUROPE	Drought	0,48025	0,42244	0,41697
	Earthquake (seismic activity)	0,54544	0,52270	0,51487
	Flood	0,73395	0,75561	0,75443
	Mass movement wet	0,21863	0,18582	0,15310
	Storm	0,46508	0,36247	0,29138
	Volcano	0,71643	0,66945	0,66345
	Drought + Storm	0,56790	0,54160	0,53469
	Flood + Landslide	0,72462	0,74548	0,74290
	Earthquake + Volcano	0,74609	0,66778	0,63650
AUSTRALIA NEW ZAEALAND	Drought	-0,03421	-0,10936	-0,16047
	Storm	0,39534	0,31190	0,26115
	Flood	0,42005	0,39898	0,39898
	Mass movement wet	0,06719	0,00681	0,01345
	Earthquake (seismic activity)	-0,16887	-0,11516	-0,13870
	Volcano	-0,13053	0,04796	0,05156
	Drought + Storm	0,35141	0,25683	0,19726
	Flood + Landslide	0,43066	0,40219	0,40341
	Earthquake + Volcano	-0,21629	-0,09556	-0,11714

Tabla DN.2 b. Coeficiente de correlación Desastres Naturales – PIB Directos y con desfases

CONTINENTES	DIRECTA	DESFASE 5 años	DESFASE 10 años
	PIB (1950-2008)	PIB (1950-2005)	PIB (1950-2000)
	Desastres (1950-2008)	Desastres (1955-2010)	Desastres (1960-2010)
DESASTRES HIDROGEOMORFOLOGICOS			
AFRICA	0,8689	0,8592	0,8436
AMERICA	0,9177	0,9779	0,8532
ASIA	0,965	0,9471	0,9597
EUROPA	0,7246	0,7455	0,7429
DESASTRES CLIMATICOS			
AFRICA	0,8016	0,7704	0,7342
AMERICA	0,9106	0,8633	0,8370
ASIA	0,8595	0,8233	0,8070
EUROPA	0,5679	0,5416	0,5347
DESASTRES GEOLOGICOS INTERNOS			
AFRICA	0,5207	0,4571	0,4297
AMERICA	0,6959	0,5373	0,4618
ASIA	0,8234	0,7926	0,7836
EUROPA	0,7461	0,6678	0,6365

TABLA DN.3. Factores de Aumento Desastres Naturales por Categoría y PIB. Coeficientes de Correlación.

		FACTOR DE AUMENTO					COEFICIENTE DE CORRELACION			
		CATEGORIA DE DESASTRES					PIB	(1) - PIB	(2) - PIB	(3) - PIB
		Geologicos			Superficiales					
		Climaticos	Internos							
AFRICA	ESTE DE AFRICA	2,7	2,7	4,6	2,3					
	CENTRO DE AFRICA	1,2	1,3	2,6	1,6					
	NORTE DE AFRICA	1,1	1,5	2,6	2,8		0,0235	0,1666	0,1846	
	SOUTHERN AFRICA	0,3	1,4	2,4	2,0					
	OESTE DE AFRICA	0,0	0,9	3,4	2,3					
AMERICA	CARIBE	2,9	1,7	1,8	2,2					
	AMERICA CENTRAL	2,7	1,1	3,3	2,4					
	AMERICA DEL NORTE	2,6	1,7	2,2	2,3	0,0961	-0,7639	0,9772		
	AMERICA DEL SUR	2,0	2,4	2,3	2,2					
ASIA	ASIA CENTRAL	1,2	2,2	1,6	1,4					
	ESTE DE ASIA	3,3	3,8	3,9	3,7					
	SUDESTE DE ASIA	2,2	2,5	3,8	3,3	0,8413	0,3765	0,9635		
	SUR DE ASIA	2,2	2,4	3,4	3,5					
	OESTE DE ASIA	1,5	0,0	3,3	2,8					
EUROPA	ESTE DE EUROPA	1,9	0,9	2,8	1,8					
	NORTE DE EUROPA	1,0	1,5	1,3	2,0					
	SUR DE EUROPA	1,4	1,0	3,5	2,1	-0,4920	0,4572	0,2797		
	OESTE DE EUROPA	5,5	0,5	1,9	1,9					
TODAS LAS REGIONES										
	ESTE DE AFRICA	2,7	2,7	4,6	2,3					
	CENTRO DE AFRICA	1,2	1,3	2,6	1,6					
	NORTE DE AFRICA	1,1	1,5	2,6	2,8					
	SOUTHERN AFRICA	0,3	1,4	2,4	2,0					
	OESTE DE AFRICA	0,0	0,9	3,4	2,3					
	CARIBE	2,9	1,7	1,8	2,2					
	AMERICA CENTRAL	2,7	1,1	3,3	2,4					
	AMERICA DEL NORTE	2,6	1,7	2,2	2,3					
	AMERICA DEL SUR	2,0	2,4	2,3	2,2					
	ASIA CENTRAL	1,2	2,2	1,6	1,4	0,1650	0,4842	0,5898		
	ESTE DE ASIA	3,3	3,8	3,9	3,7					
	SUDESTE DE ASIA	2,2	2,5	3,8	3,3					
	SUR DE ASIA	2,2	2,4	3,4	3,5					
	OESTE DE ASIA	1,5	0,0	3,3	2,8					
	ESTE DE EUROPA	1,9	0,9	2,8	1,8					
	NORTE DE EUROPA	1,0	1,5	1,3	2,0					
	SUR DE EUROPA	1,4	1,0	3,5	2,1					
	OESTE DE EUROPA	5,5	0,5	1,9	1,9					
	TODAS LAS REGIONES EXCLUIDA EUROPA					0,4255	0,3981	0,6051		
	AMERICA + ASIA					0,4702	0,3879	0,8990		
AMERICA (EXCLUIDA NORTHERN AMERICA)					0,1050	-0,7668	0,9843			

Tabla DN.4 a. Coeficientes de correlación Desastres Naturales/km² – Land Degradation Index. Regiones de África.

	NATURAL DISASTERS GF (1)	NATURAL DISASTERS 2000-2010 (2)	AREA (Km2)	NATURAL DISASTERS Km2	LAND DEGRADATION INDEX
EASTERN AFRICA					
Burundi	22,91	18	27900	6,45E-04	22,09
Comoros	??	1			??
Djibouti	0,42	0	22000		3,06
Eritrea	5,09	2	122000	1,64E-05	7,19
Ethiopia	2,65	26	1133000	2,29E-05	7,33
Kenya	9,33	33	590500	5,59E-05	4,19
Madagascar	5,09	4	593700	6,74E-06	10,12
Malawi	3,70	16	120000	1,33E-04	1,69
Mozambique	3,39	16	791000	2,02E-05	1,74
Rwanda	12,73	10	24600	4,07E-04	21,59
Seychelles	0,00	0			??
Tanzania Uni Rep	1,53	12	940000	1,28E-05	3,02
Uganda	12,73	15	242000	6,20E-05	5,93
Zambia	11,03	13	752000	1,73E-05	2,45
Zimbabwe	15,27	6	390000	1,54E-05	1,91
MIDDLE AFRICA					
Angola	4,75	19	1248000	1,52E-05	2,77
Cameroon	1,80	6	465000	1,29E-05	7,01
Central African Rep	1,75	7	621500	1,13E-05	0,63
Chad	2,25	9	1284000	7,01E-06	4,31
Congo	1,50	4	344000	1,16E-05	1,07
Gabon	??	0	267800		1,23
Zaire/Congo Dem Rep	3,75	15	2342900	6,40E-06	1,40
NORTHERN AFRICA					
Algeria	3,02	21	2319000	9,06E-06	10,71
Egypt	1,80	4	998000	4,01E-06	1,03
Libyan Arab Jamah	0,00	0	1618000		4,83
Morocco	2,27	12	407000	2,95E-05	3,12
Sudan	3,38	15	2498000	6,00E-06	7,09
Tunisia	1,80	5	153500	3,26E-05	14,78
SOUTHERN AFRICA					
Botswana	1,50	3	578800	5,18E-06	1,89
Lesotho	0,00	0	30700		11,49
Namibia	18,00	9	818600	1,10E-05	2,20
South Africa	1,10	11	1218900	9,02E-06	14,18
Swaziland	2,00	1	17900	5,59E-05	0,50
WESTERN AFRICA					
Benin	1,00	5	117500	4,26E-05	4,91
Burkina Faso	3,30	9	276000	3,26E-05	13,87
Cape Verde Is	??	1			??
Cote d'Ivoire	5,50	5	323600	1,55E-05	1,29
Gambia The	6,60	6			
Ghana	3,96	9	240000	3,75E-05	3,14
Guinea	7,70	7	246000	2,85E-05	1,54
Guinea Bissau	??	4	33600	1,19E-04	3,30
Liberia	8,80	4	97600	4,10E-05	1,21
Mali	4,40	12	1249900	9,60E-06	7,15
Mauritania	4,40	10	1053700	9,49E-06	2,87
Niger	2,51	8	1188600	6,73E-06	9,60
Nigeria	2,72	21	914000	2,30E-05	10,08
Senegal	1,96	8	196800	4,07E-05	8,50
Sierra Leone	13,20	6	72000	8,33E-05	4,59
Togo	2,64	6	56700	1,06E-04	9,37

Tabla DN.4 b. Coeficientes de correlación Desastres Naturales /km² – Land Degradation Index. Regiones de América.

	NATURAL DISASTERS GF (1)	NATURAL DISASTERS 2000-2010 (2)	AREA (Km2)	NATURAL DISASTERS Km2	LAND DEGRADATION INDEX
CARIBBEAN					
Anguilla	??	0			??
Bahamas	??	0			??
Barbados	??	0			??
Cuba	1,00	5	111000	2,22E+04	7,77
Dominican Rep	4,40	11	49500	4,50E+03	5,28
Grenada	??	0			??
Guadeloupe	??	0			??
Haiti	2,80	21	26600	1,27E+03	28,60
Jamaica	??	2	11300	5,65E+03	9,97
Puerto Rico	1,92	3	9000	3,00E+03	5,11
St Kitts and Nevis	??	0			??
St Lucia	3,20	1			??
St Vincent and The Grenadines	??	0			??
Trinidad and Tobago	1,60	1	5000	5,00E+03	9,64
CENTRAL AMERICA					
Belize	1,20	1	22000	2,20E+04	3,03
Costa Rica	4,91	15	52000	3,47E+03	21,81
El Salvador	2,80	7	21000	3,00E+03	21,13
Guatemala	4,20	14	109700	7,84E+03	9,69
Honduras	2,54	12	114500	9,54E+03	11,45
Mexico	2,61	29	1960000	6,76E+04	6,62
Nicaragua	4,05	9	130500	1,45E+04	7,04
Panama	4,98	18	75600	4,20E+03	11,93
NORTHERN AMERICA					
Canada	4,39	18	9835000	5,46E+05	0,27
United States	1,91	52	9459900	1,82E+05	2,38
SOUTH AMERICA					??
Argentina	2,38	16	35616768	2,23E+06	12,46
Bolivia	2,26	12	8148696	6,79E+05	3,46
Brazil	1,95	37	168129156	4,54E+06	4,27
Chile	3,27	12	14691696	1,22E+06	3,15
Colombia	2,67	36	37571760	1,04E+06	2,53
Ecuador	1,81	10	12119628	1,21E+06	1,72
French Guiana	??	0	113960		0,39
Guyana	3,68	3	649104	2,16E+05	1,65
Paraguay	??	2	5534052	2,77E+06	3,08
Peru	2,06	21	26388088	1,26E+06	3,23
Suriname	9,80	2	412684	2,06E+05	0,68
Uruguay	4,90	6	3134776	5,22E+05	1,07
Venezuela	2,99	11	22075668	2,01E+06	1,90

Tabla DN.4 c. Coeficientes de correlación Desastres Naturales/km² – Land Degradation Index. Regiones de Asia.

	NATURAL DISASTERS GF (1)	NATURAL DISASTERS 2000-2010 (2)	AREA (Km2)	NATURAL DISASTERS Km2	LAND DEGRADATION INDEX
CENTRAL ASIA					
Kazakhstan	5,09	6	271100	2,21E-05	4,69
Kyrgyzstan	1,94	8	19900	4,02E-04	0,23
Tajikistan	1,39	21	14200	1,48E-03	1,27
Turkmenistan	??	0	47090	0,00E+00	1,16
Uzbekistan	??	1	44500	2,25E-05	1,54
Total	1,58				
EASTERN ASIA					
China P Rep	6,22	138	9368800	1,47E-05	9,08
Hong Kong (China)	??	1			??
Japan	1,34	13	372900	3,49E-05	0,14
Korea Dem P Rep	7,63	11	121000	9,09E-05	6,62
Korea Rep	1,97	11	96000	1,15E-04	6,03
Mongolia	3,81	3	1557000	1,93E-06	5,06
Taiwan (China)	1,85	2			??
SOUTH EASTERN ASIA					
Cambodia	5,45	8	182900	4,37E-05	5,20
Indonesia	3,50	87	1897800	4,58E-05	4,67
Lao P Dem Rep	1,14	4	231700	1,73E-05	1,72
Malaysia	6,13	23	329000	6,99E-05	4,83
Myanmar	3,64	10	667800	1,50E-05	3,49
Philippines	2,96	57	294500	1,94E-04	5,35
Thailand	??	31	516000	6,01E-05	23,31
Timor-Leste	??	5			??
Viet Nam	5,66	41	330000	1,24E-04	10,50
SOUTHERN ASIA					
Afghanistan	10,00	49			
Bangladesh	1,92	23	137800	1,67E-04	14,54
Bhutan	2,55	1	40000	2,50E-05	4,51
India	3,34	110	3061700	3,59E-05	2,02
Iran Islam Rep	1,70	19			??
Maldives	5,10	1			??
Nepal	2,48	17	147000	1,16E-04	6,49
Pakistan	5,57	47	797900	5,89E-05	5,02
Sri Lanka	2,41	17	65900	2,58E-04	7,49
WESTERN ASIA					
Armenia	1,70	1			??
Azerbaijan	2,10	3			??
Georgia	3,40	4			??
Iraq	5,67	5	431000	1,16E-05	15,74
Israel	1,13	1	20600	4,85E-05	0,19
Jordan	??	0	90000	0,00E+00	11,27
Kuwait	??	0	17000	0,00E+00	4,16
Lebanon	1,70	1	10000	1,00E-04	1,56
Palestine (West Bank)	??	2			
Saudi Arabia	15,30	9	1953600	4,61E-06	7,88
Syrian Arab Rep	3,40	2	187000	1,07E-05	10,71
Turkey	2,88	22			
Yemen	8,74	18	420600	4,28E-05	6,94
Yemen Arab Rep	??	0			
Yemen P Dem Rep	??	0			

Tabla DN.4 d. Coeficientes de correlación Desastres Naturales/km² – Land Degradation Index. Regiones de Europa.

	NATURAL DISASTERS GF (1)	NATURAL DISASTERS 2000-2010 (2)	AREA (Km2)	NATURAL DISASTERS Km2	LAND DEGRADATION INDEX
EASTERN EUROPE					
Belarus	??	0	206500	0,00E+00	3,30
Bulgaria	12,60	12	110500	1,09E-04	9,60
Czech Rep	4,20	8	78000	1,03E-04	10,50
Czechoslovakia	??	0		0,00E+00	
Hungary	2,10	7	92600	7,56E-05	11,11
Moldova Rep	2,80	4	33400	1,20E-04	24,45
Poland	2,45	7	310500	2,25E-05	15,45
Romania	4,35	29	236000	1,23E-04	12,52
Russia	1,74	24	16791000	1,43E-06	2,01
Slovakia	5,60	8			
Ukraine	2,45	7	596000	1,17E-05	14,91
NORTHERN EUROPE					
Finland	??	1	331000	3,02E-06	1,69
Iceland	??	0	101000	0,00E+00	11,02
Ireland	2,00	2	69500	2,88E-05	0,08
Lithuania	??	2	64800	3,09E-05	3,18
Norway	??	1	319000	3,13E-06	0,58
Sweden	??	0	443700	0,00E+00	4,50
United Kingdom	1,71	12	244500	4,91E-05	2,59
SOUTHERN EUROPE					
Albania	3,80	5	28500	1,75E-04	24,93
Azores	??	0			
Bosnia-Herzegovina	30,40	8	51000	1,57E-04	0,00
Canary Is	??	2		0,00E+00	
Croatia	19,00	5	56500	8,85E-05	24,52
Greece	7,06	13	131900	9,86E-05	7,67
Italy	1,52	14	303000	4,62E-05	5,43
Macedonia FRY	22,80	6	25000	2,40E-04	18,68
Montenegro	??	4			
Portugal	3,26	6	89000	6,74E-05	8,82
Serbia	??	5			
Serbia Montenegro	3,04	4			
Slovenia	??	1	20000	5,00E-05	22,66
Spain	1,40	7	509900	1,37E-05	5,24
Yugoslavia	??	0	102000	0,00E+00	19,09
WESTERN EUROPE					
Austria	1,68	6	83500	7,19E-05	6,17
Belgium	2,38	7	29900	2,34E-04	7,86
France	1,93	13	546900	2,38E-05	2,58
Germany	??	7	355000	1,97E-05	6,31
Germany Fed Rep	??	0			??
Netherlands	??	0	38500	0,00E+00	2,10
Switzerland	1,83	0	41000	0,00E+00	2,82

Tabla DN.5. Coeficiente de correlación entre Land Degradation Index y número de desastres hidrogeomorfológicos por unidad de superficie en la última década.

CONTINENTES	TODOS LOS PAISES DE LA MUESTRA	> 0 = 5 DESASTRES EN LA DECADA	> 0 = 10 DESASTRES EN LA DECADA
AFRICA	0,63	0,67	0,77
ASIA	0,83	0,87	0,89
AMÉRICA	Negativo	Negativo	Negativo
EUROPA	0,42	0,68	0,94

Tabla DN.6. Coeficientes de correlación Desastres Naturales (Factor de Aumento) – Land Degradation Index, teniendo en cuenta a los países en los que se produjeron al menos 10 desastres naturales de tipo hidrogeomorfológico y con series de datos adecuadas.

CONTINENTE	MUESTRA (100%) COEFICIENTE CORRELACION	MUESTRA (%)	COEFICIENTE DE CORRELACION
AFRICA	0,2400	68	0,7785
AMERICA	-0,0530	50	0,7625
ASIA	0,3650	70	0,8385
EUROPA	0,4878	80	0,8313

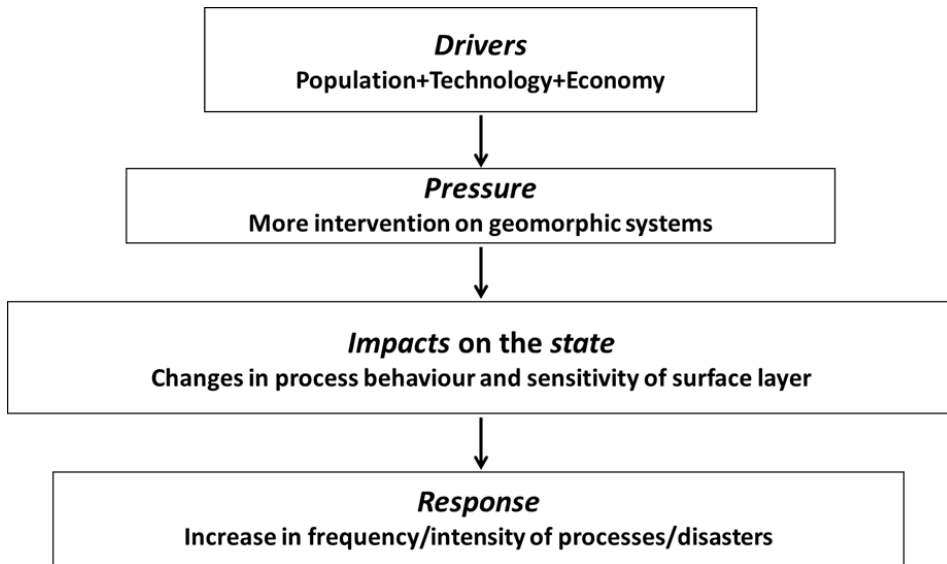


Figura DN.1. Modelo conceptual de Cendrero et al. (2006).

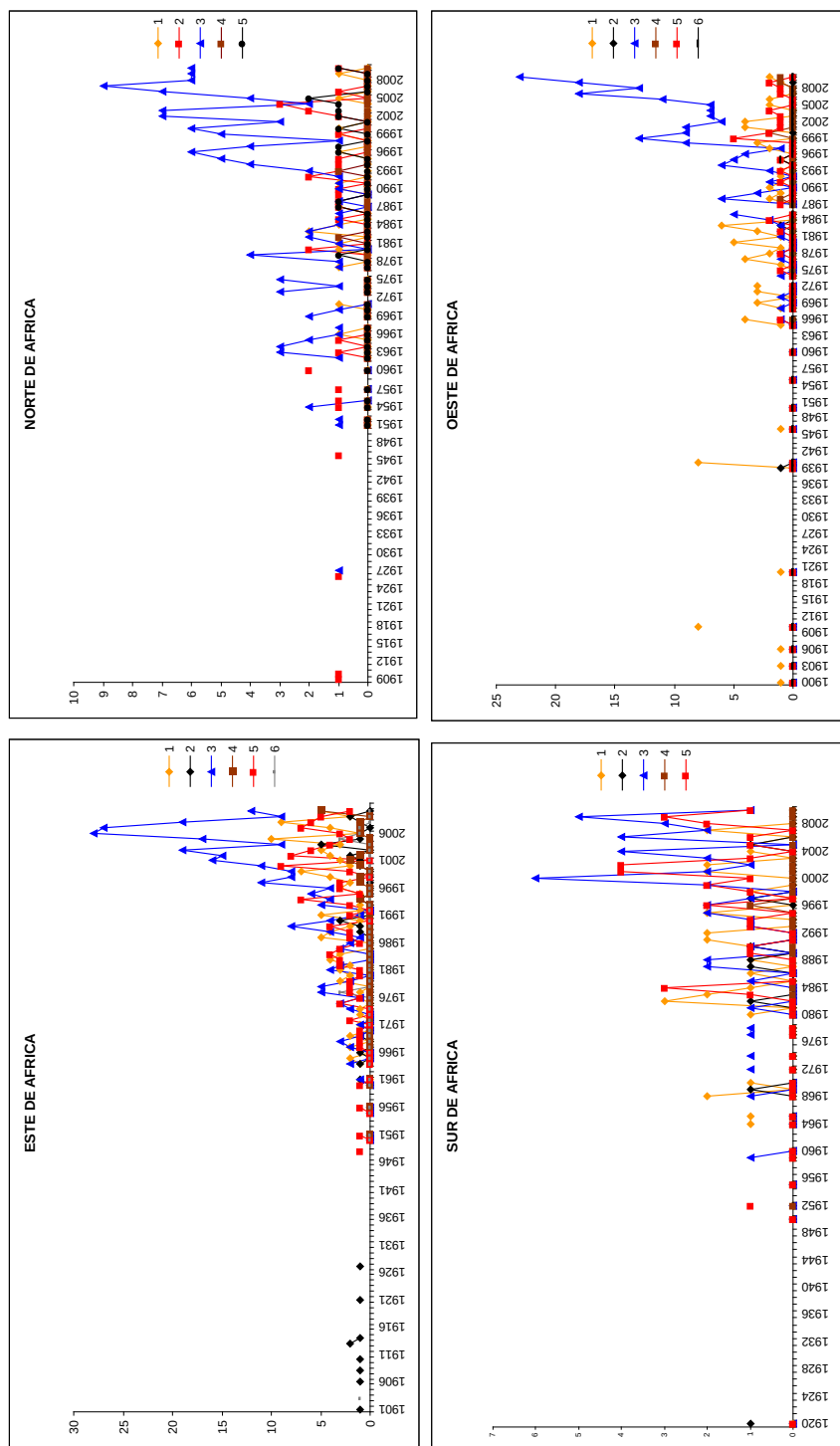


Figura DN.2 a1. Variación temporal de los distintos tipos de desastres naturales en regiones de África. 1) Sequías; 2) Tormentas; 3) Inundaciones; 4) Deslizamientos; 5) Terremotos; 6) Erupciones volcánicas.

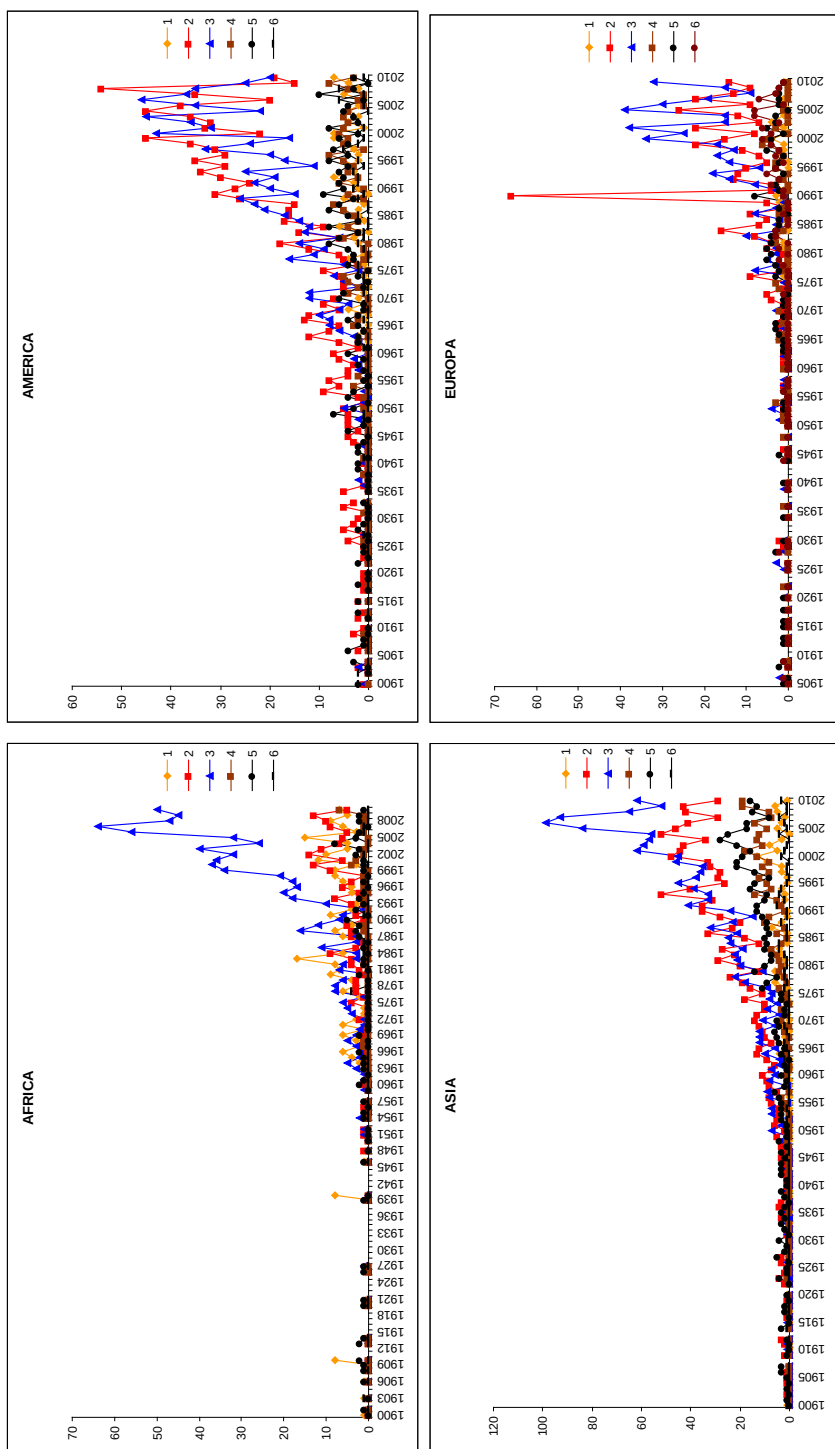


Figura DN.3 a. Variación temporal de los distintos tipos de desastres naturales por continentes del mundo. 1) Sequías; 2) Tormentas; 3) Inundaciones; 4) Deslizamientos; 5) Terremotos; 6) Erupciones volcánicas.

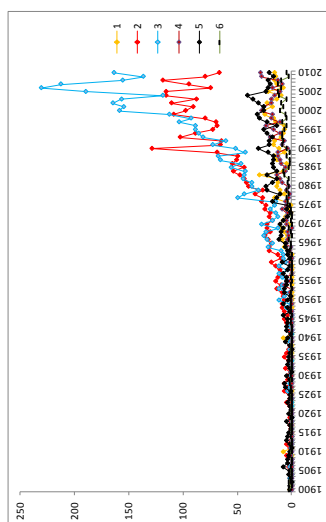


Figura DN.4 a. Variación temporal de los distintos tipos de desastres naturales a nivel mundial. 1) Sequías; 2) Tormentas; 3) Inundaciones; 4) Deslizamientos; 5) Terremotos; 6) Erupciones volcánicas.

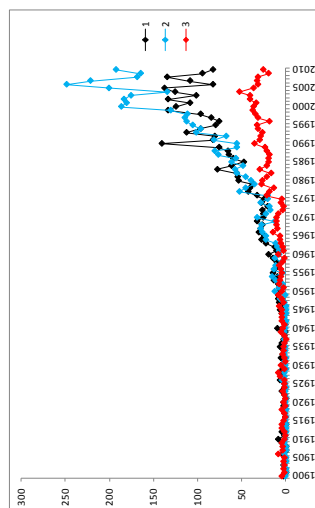


Figura DN.4 b. Variación temporal de los distintos tipos de desastres naturales a nivel mundial agrupados por categorías. 1) Climáticos; 2) Procesos geológicos internos; 3) Procesos superficiales.

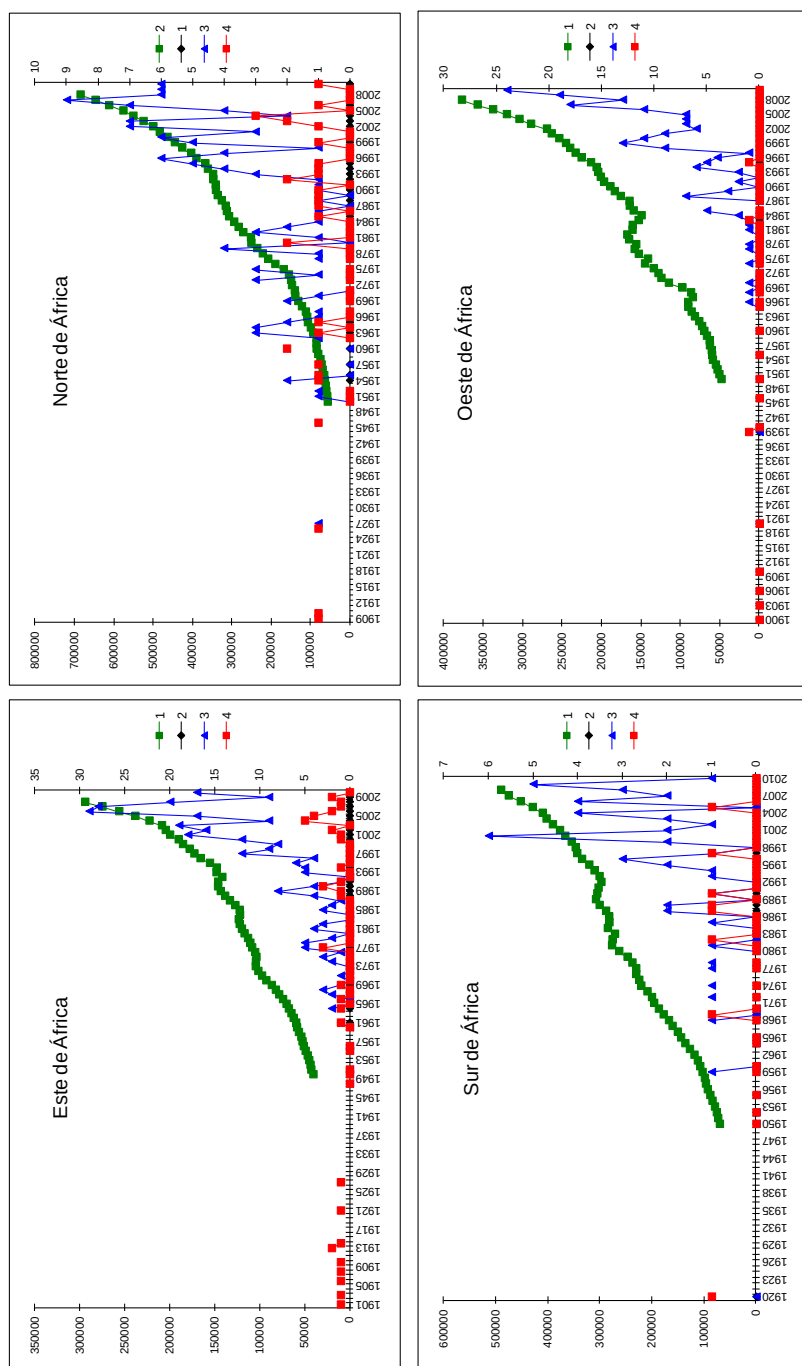


Figura DN.5 a. Regiones de África. Relación de la variación temporal del PIB total (dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990) con desastres naturales agrupados por categorías. 1) PIB; 2) Climáticos; 3) Procesos superficiales; 4) Procesos geológicos internos.

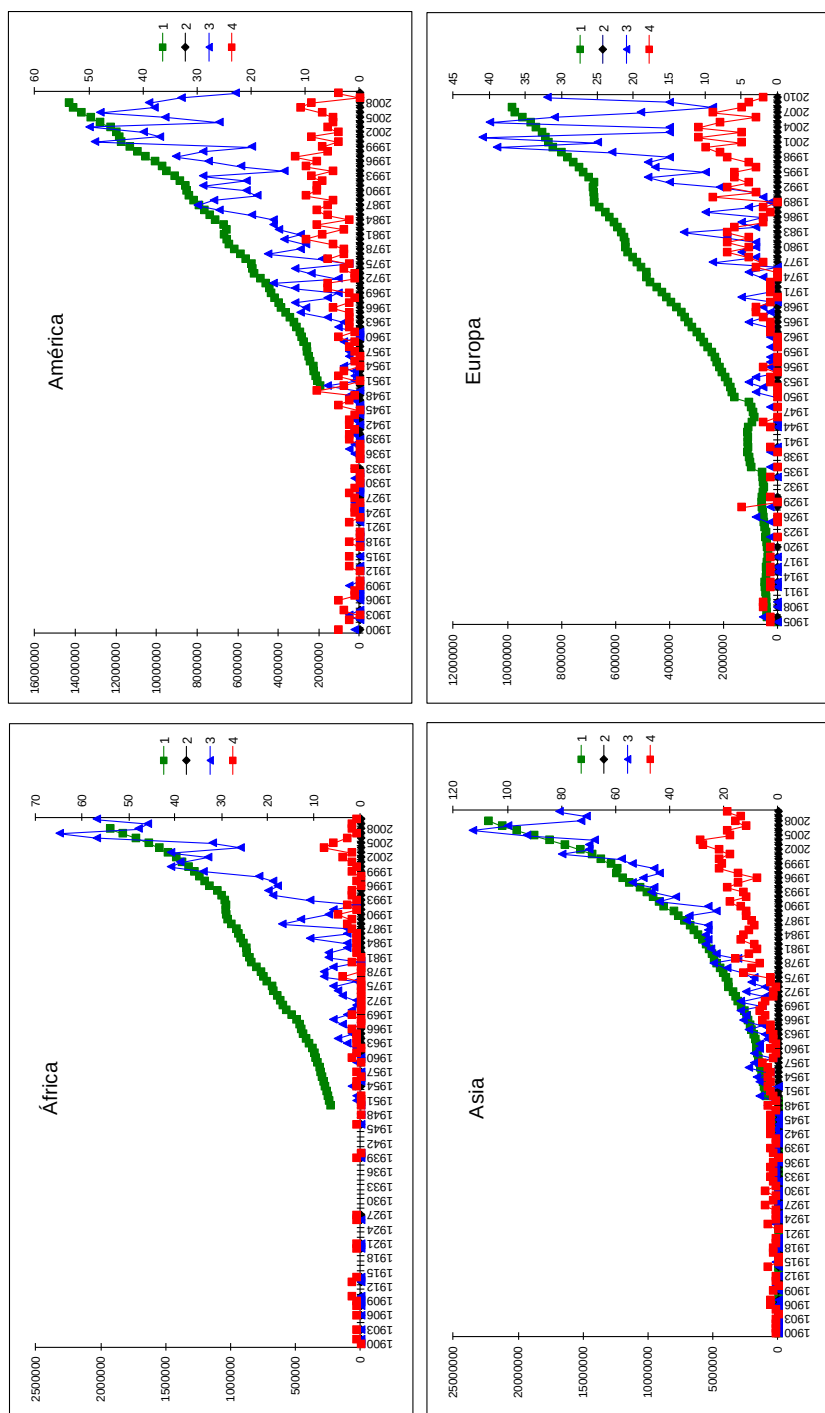


Figura DN.6. Continentes. Relación de la variación temporal del PIB total (dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990) con desastres naturales agrupados por categorías en cuatro continentes del mundo. 1) PIB; 2) Climáticos; 3) Procesos superficiales, 4) Procesos geológicos internos.

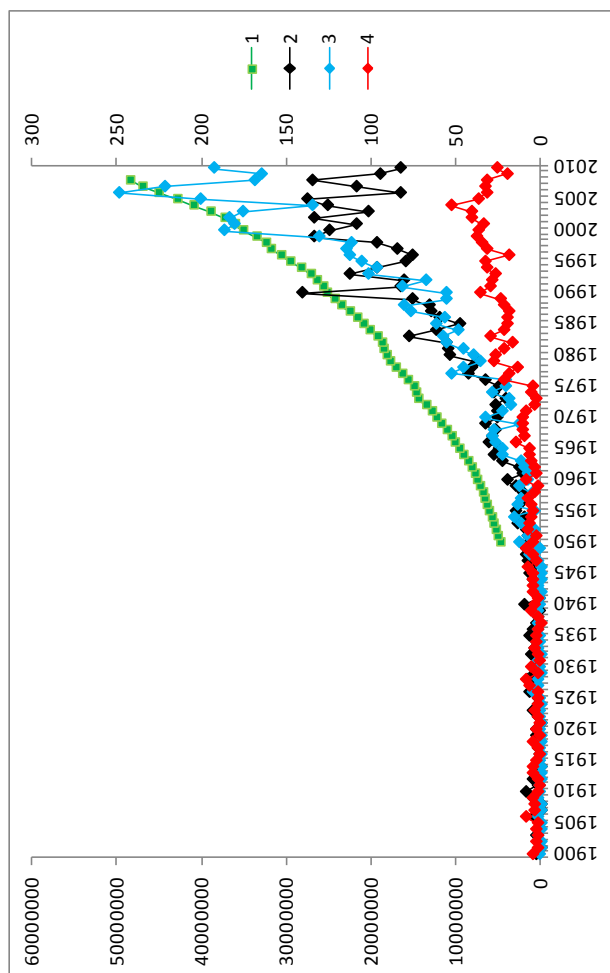


Figura DN.7. Nivel mundial. Relación de la variación temporal del PIB total (dólares Geary Khamis a valores constantes de 1990) con desastres naturales agrupados por categorías en cuatro continentes del mundo. 1) PIB; 2) Climáticos; 3) Procesos superficiales, 4) Procesos geológicos internos.

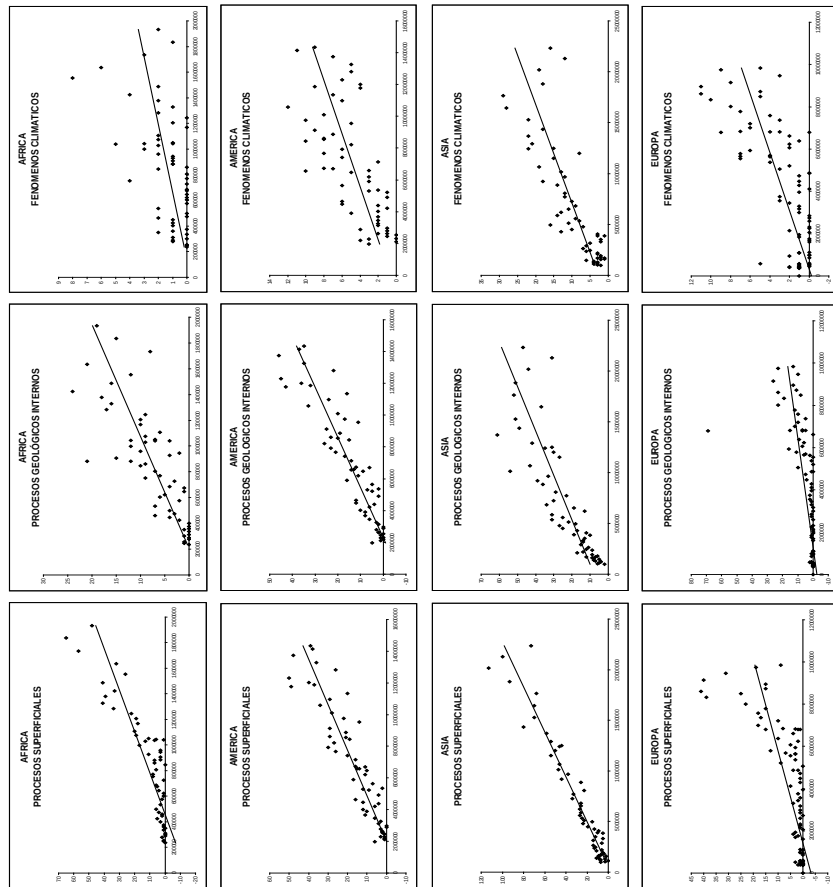


Figura DN.8 a. CONTINENTES. Diagramas de dispersión. Correlación directa. Desastres Naturales Agrupados por Categorías – PIB.

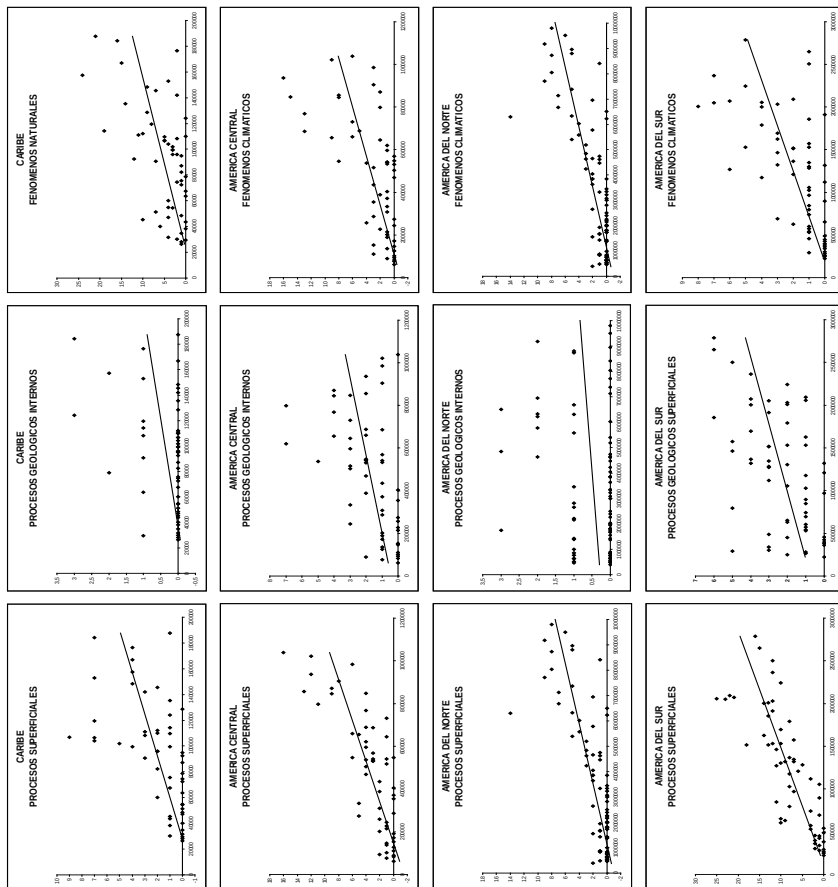


Figura DN.8 b. Diagramas de dispersión. Correlación directa. AMERICA: Desastres Naturales Agrupados por Categorías – PIB.

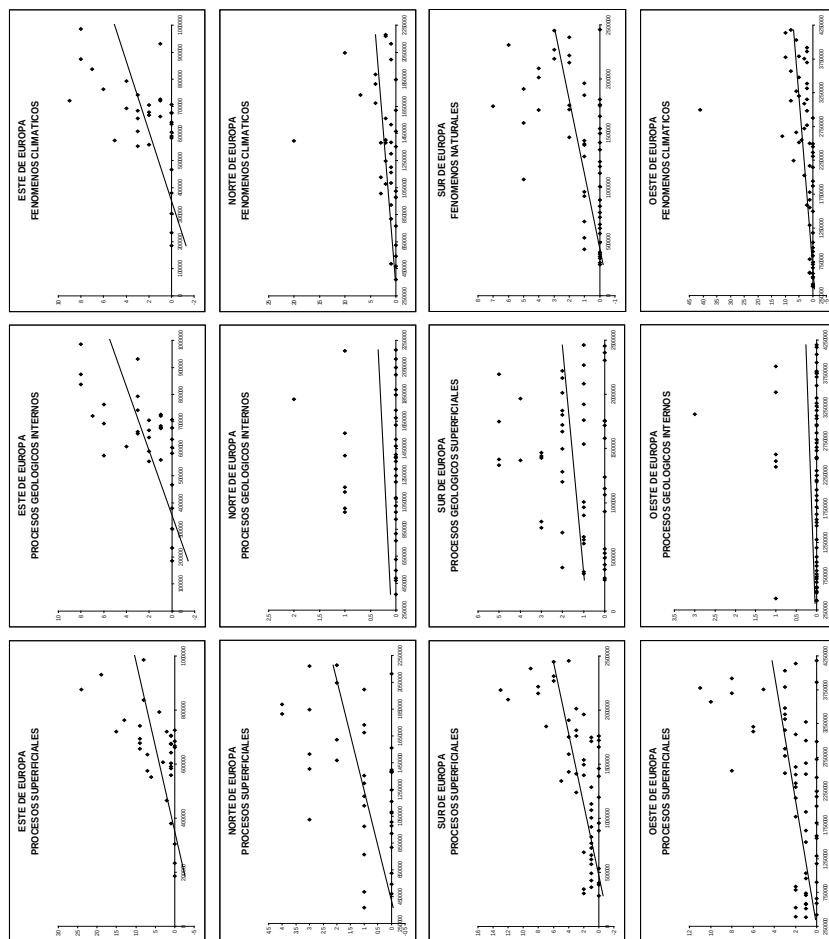


Figura DN.8 c. Diagramas de dispersión. Correlación directa. EUROPA: Desastres Naturales Agrupados por Categorías – PIB.

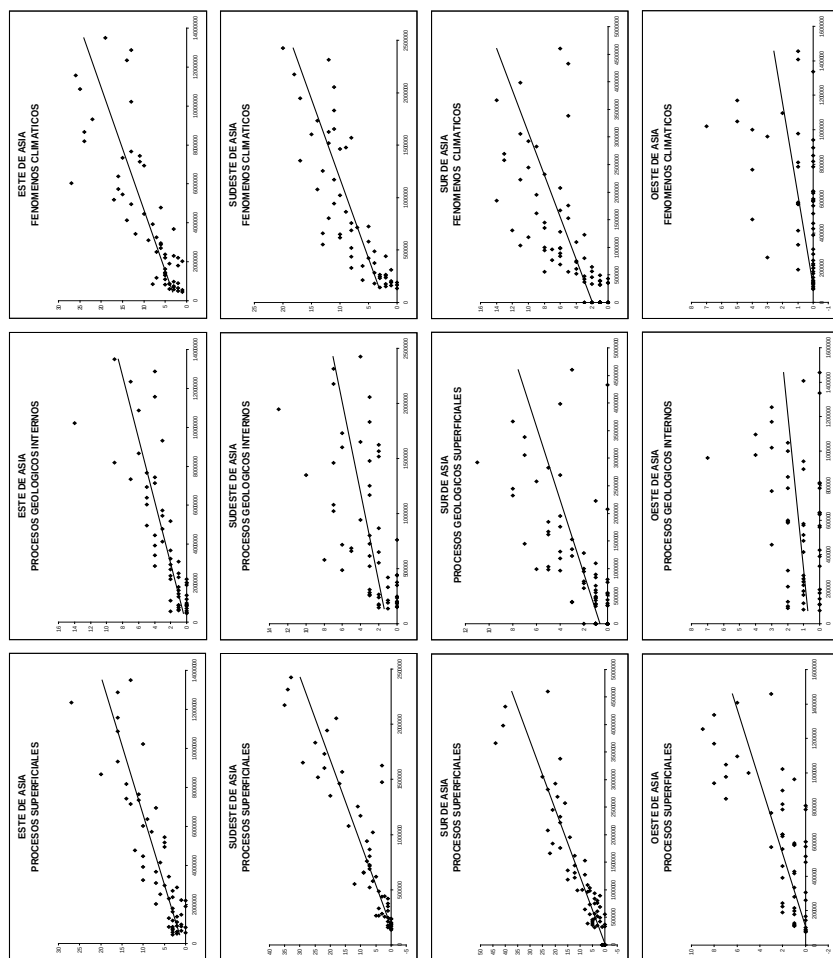


Figura DN.8 d. Diagramas de dispersión. Correlación directa. ASIA: Desastres Naturales Agrupados por Categorías – PIB.

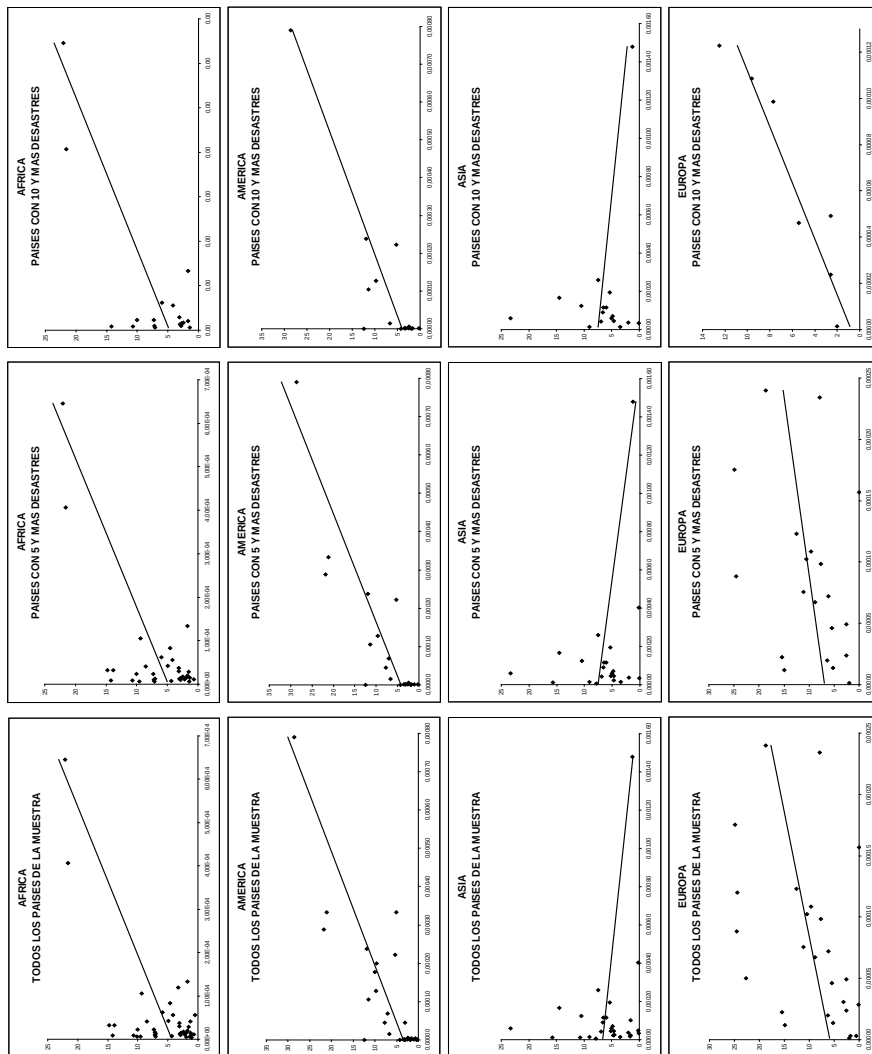


Figura DN.9. Diagramas de dispersión. Número de Desastres Hidrogeomorfológicos / km² – Land Degradation Index.

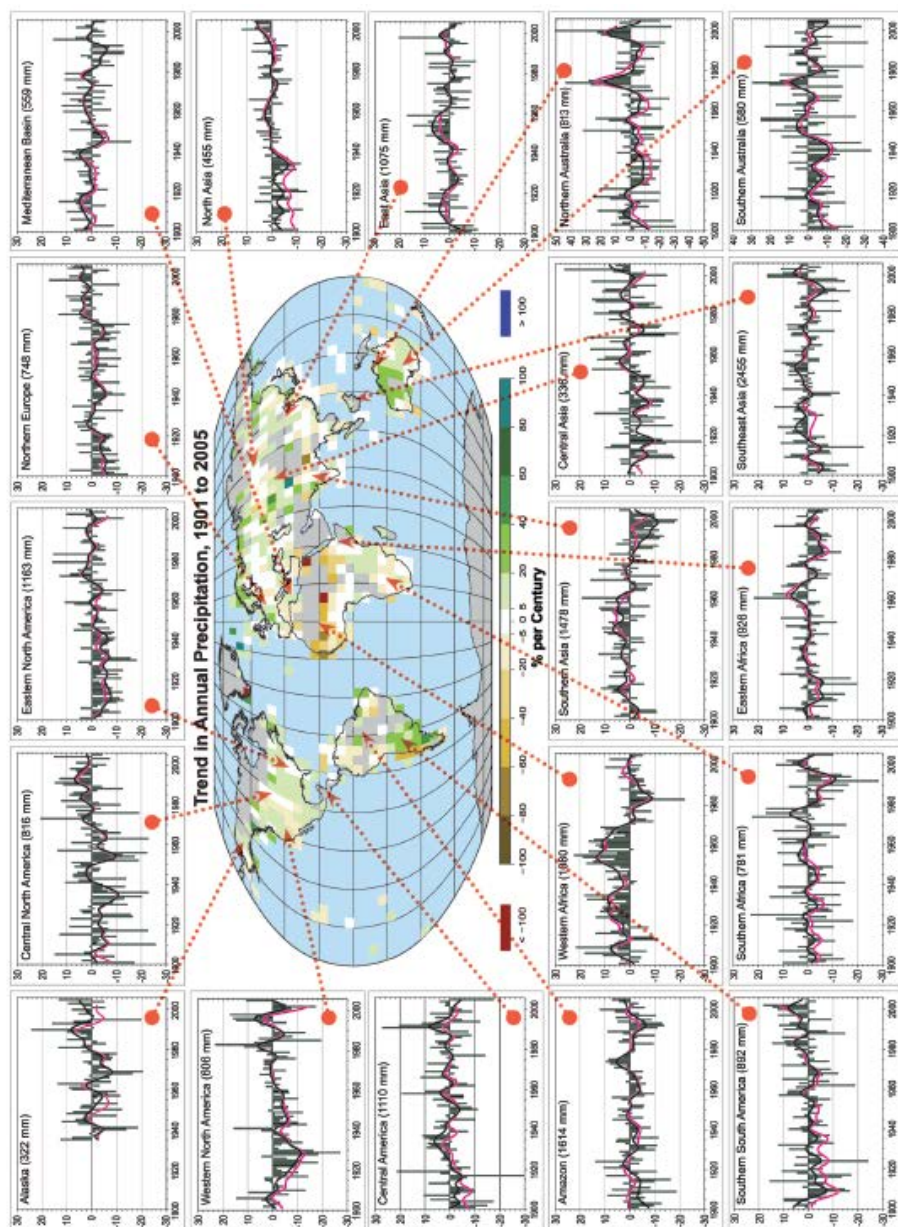


Figura DN.10. Variación de las precipitaciones 1900-2005. (IPCC, 2007).

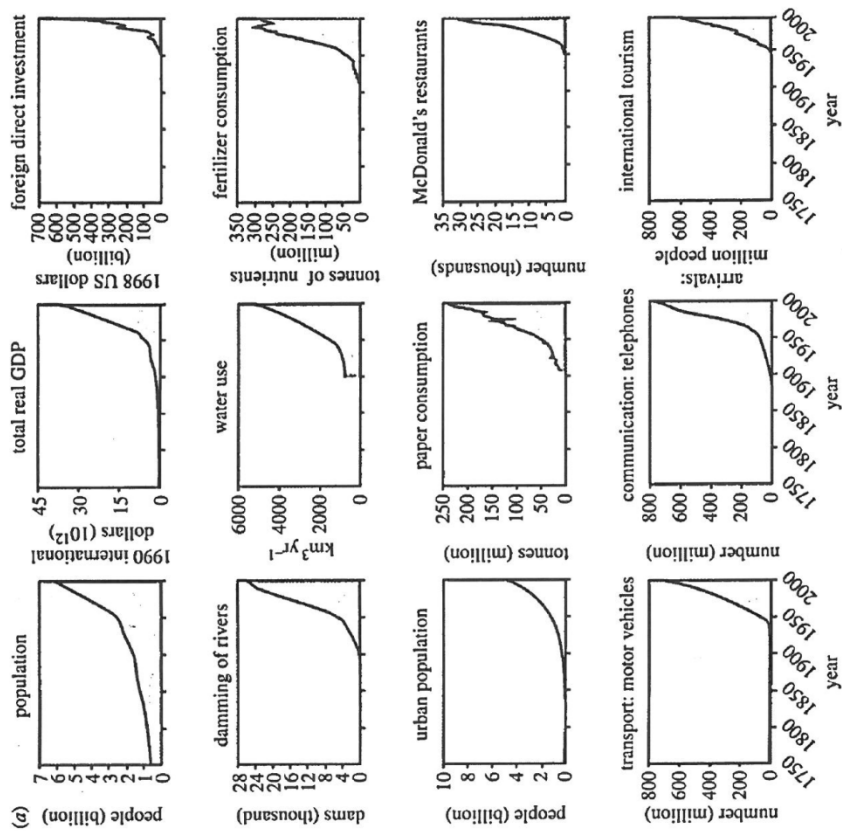


Figura DN.11 a. Tasas de aumento de las actividades humanas desde el comienzo de la Revolución Industrial, mostrando el significativo incremento ocurrido a partir de los últimos 50 años, (Steffen et al. 2011).

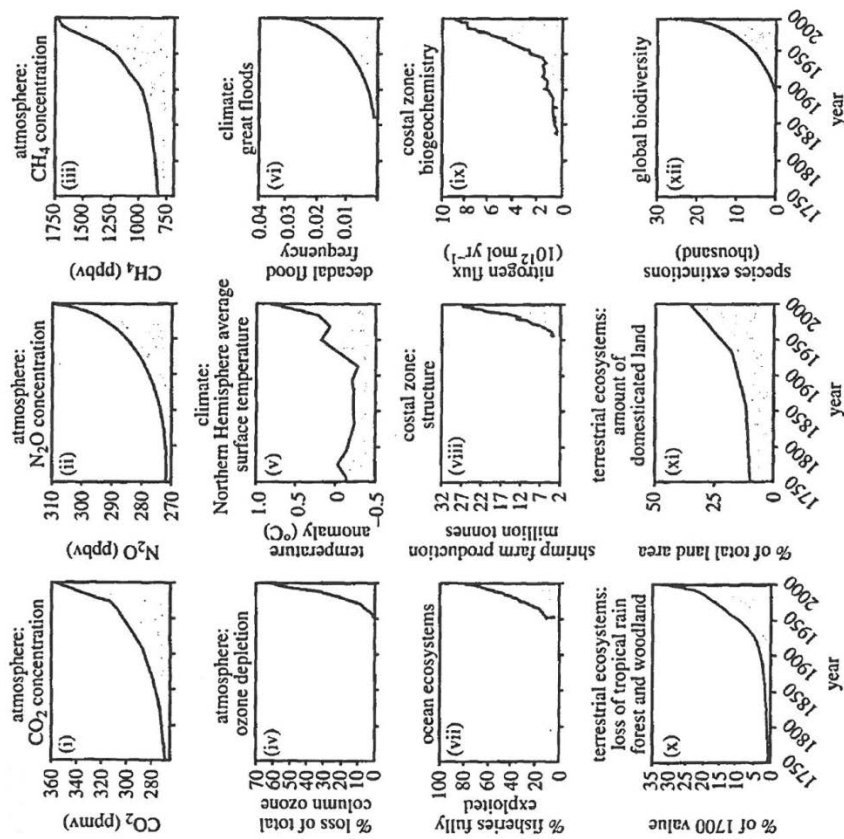


Figura DN.11 b. Cambios globales producidos como consecuencia del incremento en las tasas de las distintas actividades humanas (Steffen et al. 2011).

4. RECAPITULACIÓN Y CONCLUSIONES

4. RECAPITULACIÓN Y CONCLUSIONES

En este capítulo se hace una breve recapitulación de los resultados presentados en los anteriores y se interpreta el conjunto de los mismos. A partir de dicha interpretación, se extraen conclusiones, se hacen reflexiones sobre las incertidumbres existentes y se indican algunas líneas de trabajo que podrían ayudar a profundizar en la comprobación de la hipótesis y a reducir las citadas incertidumbres. En la discusión que sigue no se han incluido, de manera deliberada, citas de trabajos previos, que están ampliamente reflejadas y comentadas en los capítulos anteriores.

El abordaje metodológico seguido para contrastar el modelo propuesto y hallar respuestas a los interrogantes planteados, se apoya en tres tipos de datos sobre los procesos geomorfológicos, de naturaleza muy diferente: determinaciones de tasas de sedimentación a través de la extracción y datación de testigos de sondeos; obtención de datos sobre tasas de sedimentación a partir de la literatura; análisis de la frecuencia de desastres naturales a partir de bases de datos internacionales. Las fuentes de información utilizadas han sido también muy diferentes, como se pone de manifiesto en la amplia relación de referencias en las que se apoya el trabajo.

El modelo que se intenta contrastar supone (entre otras cosas) que hay una relación entre actividades humanas y generación de sedimento. Ahora bien, sobre la tasa de generación de sedimento en el pasado hay pocos datos y prácticamente no hay series temporales. Las tasas de sedimentación, que es lo que se ha utilizado aquí, son un “proxy” de las anteriores, que sí se puede determinar a partir del registro geológico. Pero es un proxy con limitaciones. Por citar solamente un caso, dos cuencas drenando hacia lagos, con tasas idénticas de generación de sedimento, tendrían tasas de sedimentación muy diferentes si los lagos tienen extensión similar y las cuencas extensiones muy distintas. Se pueden poner muchos otros ejemplos, que afecten a otras variables además de la extensión de la cuenca.

Determinaciones de las tasas de sedimentación

Los resultados obtenidos a través de las determinaciones de tasas de sedimentación, tanto en Sudamérica como en el N de España (en esta última, a partir de datos en la literatura), han puesto de manifiesto un aumento generalizado de dichas tasas. De los 10 sondeos obtenidos para la

cuenca del Río de la Plata, únicamente 3 han mostrado estabilidad en las tasas de sedimentación durante el periodo cubierto, y en ninguno se ha observado reducción. De ellos, dos corresponden a la laguna de Pozuelos, una zona casi sin actividad humana y donde se esperaba que no hubiera variación de las tasas. El tercero, a un punto en el estuario donde también se esperaba estabilidad, por estar muy poco influido por la dinámica del mismo.

En el caso del N de España, hay un total de 14 sondeos. Nuevamente, en ninguno se ha observado reducción de las tasas de sedimentación, y se ha encontrado estabilidad en tres de ellos. En los tres casos las condiciones locales proporcionan explicaciones razonables (no certidumbre) para esa estabilidad.

Los factores de aumento de las tasas de sedimentación que se obtienen del conjunto de los sondeos comentados, varían entre 1,5 y 10 en el N de España en aproximadamente un siglo. En la cuenca del Río de la Plata y la Pampa húmeda oscilan entre 8 y 20. En la práctica totalidad de los sondeos que muestran crecimiento de las tasas, ese crecimiento se acelera en los tiempos recientes, especialmente las últimas décadas. Este mayor incremento de las tasas de sedimentación en Argentina y Brasil puede estar también relacionado con la deforestación.

Tanto en Brasil y Argentina como en el N de España, las tendencias de variación de las tasas de sedimentación y las de los indicadores de intensidad de las actividades humanas que podrían influir en la generación de sedimento, son muy similares. Y también lo es la magnitud de los factores de aumento, que se sitúan entre 3 y 14 para los diferentes indicadores en el Río de la Plata, y entre 2 y 10 en el N de España.

En la cuenca del Río de la Plata, para la que se han obtenido datos sobre un número mayor de indicadores, los que presentan mayores factores de aumento son precisamente aquellos que, en principio, se relacionan de manera más estrecha con actividades transformadoras del territorio (PBI, consumo de energía, consumo de cemento). La similitud entre el factor de aumento de estos indicadores y las de las tasas de sedimentación, es especialmente patente en el periodo posterior a 1960, para el cual hay datos sobre todos los indicadores

En contraposición a lo que ocurre con los indicadores de la actividad humana, la magnitud de las precipitaciones o la frecuencia de las lluvias intensas presentan un aumento muy leve en la cuenca del Río de la Plata, y

una disminución en el N de España; esta, coincidiendo con el periodo de mayor incremento de las tasas de sedimentación.

Las pautas anteriores se observan, en ambas regiones, tanto si se consideran cuencas o territorios individuales (prácticamente sin excepción) como, especialmente, para el conjunto de las mismas.

Los resultados comentados sugieren, como interpretación más razonable, que la creciente acumulación (reflejo de una creciente generación) de sedimento observada en estas dos áreas tan diferentes, no se debe a causas climáticas, sino a la transformación del territorio por las actividades humanas.

Síntesis a partir de la literatura

El análisis de las tasas de sedimentación realizado a través de la literatura (exceptuando los relativos al N de España, comentados en el apartado anterior), con peor resolución temporal pero basado en datos sobre cerca de un millar de lugares, ofrece resultados que se asemejan mucho a los anteriores.

En *China*, Considerando los factores de aumento de las tasas para el periodo más largo que se puede determinar (AA-DD, que cubre aproximadamente un siglo), se tienen valores promedio de 5,09 y 3,72, según que se tomen todos los puntos o solamente los correspondientes a puntos que cuentan con datos para los tres lapsos establecidos. Si se consideran por separado los distintos ambientes, los valores de se sitúan entre 2,7 y 11,23 (eliminando dos valores, máximo y mínimo, muy extremos y basados en pocos puntos). En el caso de las regiones, los factores de aumento se encuentran entre 2,58 y 12,54. Los valores más altos tienden a darse en regiones densamente pobladas, como la costa E y las llanuras del N y cuenca del río Amarillo.

Es notable el paralelismo existente en este país entre las figuras (“caricaturas”) que muestran la variación temporal de las tasas de sedimentación y la del PBI, mayor en el caso de los promedios de puntos con tres datos temporales. La magnitud de los incrementos, sin embargo, es claramente mayor para el PBI que para las tasas de sedimentación, lo cual, como se discute más abajo, es bastante lógico en el marco del modelo. Por el contrario, la comparación con los datos relativos a la evolución de las precipitaciones pone de manifiesto que las tendencias,

magnitud y sentido de los cambios en estas, siguen pautas bastante diferentes.

Los resultados para la *India* son menos concluyentes, puesto que en pocos ambientes o regiones se dispone de datos para los tres periodos. En cualquier caso, tanto en unos como en otros (cuando hay datos), hay un inequívoco aumento de las tasas de sedimentación con el tiempo. Si el análisis se lleva a cabo utilizando solamente los puntos que presentan datos para todos los periodos considerados, se pone de manifiesto que las tasas no solo aumentan, sino que ese aumento se acelera en tiempos recientes.

Las tasas de sedimentación promedio durante el último periodo analizado oscilan entre 6,19 y 27,98 mm/ año en las distintas regiones. Los valores claramente más altos se dan en las dos grandes regiones más densamente pobladas. Los factores de aumento para todo el periodo cubierto (AA-DD) varían entre 2 y 8,58, con el valor alto más para la meseta peninsular, una zona densamente poblada que también tiene un alto valor de la tasa promedio. Como se ha comentado para China, no es ilógico suponer, (aunque no esté probado) que eso se debe a una relación entre la densidad de población y la magnitud y ritmo de cambio de las tasas de sedimentación.

Las tendencias marcadas para el conjunto del país reflejan de manera todavía más clara lo antedicho, aumento general de las tasas de sedimentación con el tiempo, que muestra una aceleración (mayor factor de aumento en el periodo más reciente) cuando se hallan los promedios para los puntos con tres datos. Al igual que en China, las tendencias de variación de las tasas de sedimentación y del PIB son similares, similitud que se acentúa si se toman solamente las tasas de los puntos con tres datos temporales. Tampoco en India se aprecian similitudes entre las tendencias de variación de las tasas de sedimentación y las de las precipitaciones, que tienden a disminuir a partir de finales de los años setenta.

En *Estados Unidos*, el promedio de las tasas de sedimentación en el periodo más reciente oscila entre 7 y 25 mm/año en las distintas regiones, y los factores de aumento de las mismas entre 2 y 24. Los valores más altos para las primeras se encuentran en la costa S (Golfo de México), incluyendo el entorno de la desembocadura del Río Mississippi, y para las segundas en esta y en las cuencas intermontanas del oeste. En ambas zonas se ha concentrado en gran medida el crecimiento demográfico del país durante las últimas décadas.

Los promedios de las tasas para el conjunto del país muestran un aumento general de las tasas de sedimentación a lo largo del tiempo. En este caso, los resultados para los puntos con tres datos indican una leve aceleración aritmética, y los que utilizan todos los datos presentan una aceleración geométrica marcada. Como se comentó en el capítulo correspondiente, lo anterior puede estar reflejando las consecuencias del “Dust Bowl” de los años 20/30 del pasado siglo y la posterior implantación de medidas de conservación del suelo.

También en Estados Unidos se encuentra un paralelismo entre los aumentos de las tasas de sedimentación y el PBI, pero hay diferencias con respecto a China e India. El grado de semejanza entre ambos es menor que en esos países y la coincidencia es mejor cuando se toman todos los puntos que cuando se consideran solamente los que tienen tres datos. Además, el factor de aumento del PBI es aproximadamente un orden de magnitud mayor que el de las tasas de sedimentación. Nuevamente, los datos relativos a la evolución de las precipitaciones muestran muy ligeras variaciones a lo largo del periodo de análisis, siendo de destacar que en la región con mayor incremento de las tasas de sedimentación (la zona SE), es donde las lluvias muestran más estabilidad.

Los resultados obtenidos para *Europa* muestran de manera bastante clara un aumento de las tasas de sedimentación en el conjunto del continente, y también que dicho aumento ha experimentado una aceleración en las últimas décadas.

Los promedios de las tasas de sedimentación en el periodo más reciente (DD, considerando todos los datos), varían entre 4,53 y 17,67 mm/año. Los valores más altos corresponden a Alemania y países adyacentes, Francia y Benelux y los más bajos a la Península Ibérica, Rumania y Península Escandinava. Los primeros son áreas de alta densidad de población y los segundos tienen densidades bastante bajas. Los factores de aumento para el conjunto del periodo analizado son 2,27 - 27,69 tomando todos los puntos y 1,22 - 7,6 toman solo puntos con datos para tres periodos. No hemos encontrado una aparente relación entre estos factores y la densidad de población u otras condiciones de los países. Cuando se considera el continente en conjunto (tanto todos los puntos como solo los que cuentan con tres datos) se pone de manifiesto un crecimiento general de las tasas y una aceleración del crecimiento de estas a partir de mitad del siglo XX.

La comparación entre estos promedios para el conjunto del continente y el PBI pone de manifiesto tendencias que se asemejan más a las de

Estados Unidos que a China o India, cosa poco sorprendente. El grado de semejanza entre las tendencias de variación de ambas variables es mejor cuando los promedios de las tasas se calculan para todos los puntos y también hay una diferencia importante (aunque no tanto como en USA) entre los factores de aumento de tasas y PBI. La variación de las precipitaciones muestra algo parecido a lo que se ha encontrado en las demás regiones estudiadas, unas variaciones de magnitud relativamente pequeña, de sentidos diferentes según los países y sin aparente relación con la magnitud de los cambios experimentados por las tasas de sedimentación en ellos.

El análisis de los resultados por países o agrupaciones de países muestra en la gran mayoría de los casos el paralelismo entre la variación del PBI y de las tasas de sedimentación (con una única excepción). Sin embargo, a diferencia de lo encontrado en las demás áreas analizadas, la semejanza entre las tendencias de ambas variables no mejora cuando se calculan las tasas solamente para puntos con tres datos, sino que empeora o no muestra diferencias significativas. Esto puede deberse a la reducción del tamaño de las muestras, y también a que, al reducirse la extensión del área analizada, es más probable que determinadas variables que influyen en el proceso de erosión/sedimentación y pueden no ser muy determinantes con carácter general, sí podrían serlo en un entorno más reducido.

Los resultados para el conjunto de *Australia* muestran que las tasas de sedimentación han aumentado de manera general desde finales del siglo XIX hasta la actualidad, y también que ese aumento es muy marcado a partir de mitad del siglo XX. En este caso, no obstante, a diferencia de lo que ocurre en otras regiones, el incremento es en general de tipo aritmético, no geométrico. La tendencia a la aceleración es más patente cuando los promedios se calculan utilizando solamente puntos con tres datos temporales. Los factores de aumento de las tasas de sedimentación para el conjunto del país son 10-12.

Hay un grado de coincidencia bastante marcado entre las tendencias de variación de las tasas y las del PIB, coincidencia que mejora cuando las primeras se calculan tomando solamente los puntos con tres datos. Es notable, sin embargo, el factor de aumento del PIB (casi 47), el más alto encontrado en nuestro análisis y mucho mayor que el de las tasas. Los análisis de las relaciones entre ambas variables en las diferentes “cuencas” o regiones consideradas muestran pautas similares a las anteriores, con

unas pocas excepciones que corresponden a áreas con muy pocos datos o con escasa influencia humana.

Las tasas de sedimentación promedio y sus factores de aumento tienden a ser mayores en las regiones más densamente pobladas, o bien en las que, sin serlo, la intensidad de las actividades humanas ha crecido más en el último periodo considerado. La correlación abordada para regiones, entre factores de aumento del PIB y de las tasas de sedimentación, en algunos casos con un alto valor de R^2 , apoya la idea de una relación causa-efecto entre ambas variables, aunque esto no se debe considerar como una prueba concluyente.

Si bien el aumento de las tasas es prácticamente general en todos los ambientes y regiones analizados, las precipitaciones han variado muy ligeramente y con signos contrarios según las zonas del país. Es de especial interés señalar que, en el periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial, cuando más han aumentado las tasas de sedimentación, se produjo una reducción de las precipitaciones en la zona oriental del país, en la que el aumento de las tasas está mejor documentado, por disponerse de mayor número de datos.

Síntesis a partir de las siete zonas

Del conjunto de los datos presentados para las siete grandes zonas analizadas se pueden extraer algunas conclusiones iniciales. La Tabla 4.1 presenta una síntesis de los valores obtenidos para cada una de ellas. Como se muestra en la tabla, hay un aumento de las tasas de sedimentación en todas ellas, y en la mayoría de los casos una aceleración de las mismas. Si se toman solamente los lugares en los que se tienen datos para los tres lapsos temporales establecidos, la aceleración se produce en todas las zonas, siendo en la mayoría de los casos de tipo geométrico. Por otro lado, la comparación entre tasas de sedimentación y PIB no muestra, a esta escala, relación aparente.

El promedio de las tasas de sedimentación (mm/año) en el periodo más reciente, utilizando todos los datos, oscila entre 7 y 13 mm/año. Los factores de aumento de las tasas (promedios para puntos con tres datos) oscilan entre 2 y 22. Estos valores deben tomarse como una primera aproximación de grano grueso, ya que el número de lugares sobre los que hay datos es escaso en relación con la extensión de las zonas consideradas (p. ej., en el Río de la Plata, aunque correspondan a determinaciones

directas de tasas, solamente hay datos sobre 5 lugares,). Además, para hallar los promedios no se ha realizado ningún tipo de ponderación de los valores, que considere el número de datos, la extensión de la unidad correspondiente, etc.

El conjunto de los resultados obtenidos muestra que, en la gran mayoría de los casos, el promedio de las tasas de sedimentación en el periodo más reciente es mayor cuando se toman todos los puntos que cuando se toman solamente los que tienen tres datos temporales. Esto es lógico, ya que el número de datos en ese lapso temporal es mucho más alto que para todos los demás, y que las tasas en ese periodo son, prácticamente sin excepción, bastante más altas que en los demás. Aumenta por tanto, al aumentar el número de datos, la probabilidad de que se incorporen más valores elevados.

Seguramente más significativos que los valores absolutos son los relativos, que marcan las tendencias de cambio. El promedio de los factores de aumento para las 7 zonas (nuevamente, sin ponderación) es aproximadamente 8. Esto es, casi un orden de magnitud. En todas las zonas se aprecia una aceleración del aumento de las tasas de sedimentación a partir de mitad del siglo XX, en general de tipo geométrico. Solamente en USA esta aceleración es muy leve. En relación con lo anterior, se insiste en que, cuando en el siglo XX solo hay datos para el conjunto (BB), sin discriminar los periodos CC y DD, los promedios correspondientes se han asignado a CC; esto es, *se ha introducido un sesgo en contra del modelo*.

La tendencia general pone de manifiesto que hay un crecimiento continuado de las tasas de sedimentación con el tiempo, para las grandes áreas tomadas en conjunto, las cuencas o regiones geográficas dentro de ellas, o los distintos ambientes de sedimentación, con muy pocas excepciones. Esto sugiere que la intensificación de los procesos geológicos de erosión/sedimentación puede tener carácter global, y que afecta a todo tipo de medios de sedimentación y agentes erosivos. También con carácter bastante general, las tasas de erosión no solo crecen, sino que se aceleran con el tiempo, siendo los factores de multiplicación mayores para el periodo (1900-1950)/(1950-presente) que para (pre-1900)/(1900-1950). En este caso hay más excepciones, pero están lejos de representar una parte importante del total.

El factor de aumento del PIB es más alto que el de las tasas de sedimentación, en todas las zonas. Esto es lógico, puesto que solamente una parte del PIB corresponde a actividades que impactan sobre el

territorio y lo transforman (la mayor parte del sector primario, construcción y desarrollo de infraestructuras), pero hay otras (la mayoría de las manufacturas y casi todo el sector terciario) que influyen muy poco. Un análisis de las relaciones entre tasas de sedimentación y PIB por sectores sería probablemente más ilustrativo.

En lo que se refiere a la posible influencia de los cambios en las precipitaciones sobre las tendencias de variación que muestran las tasas de sedimentación, en todas las zonas analizadas se observa que las precipitaciones han experimentado cambios cuantitativos muy limitados a lo largo del periodo de análisis (en ningún caso superiores al 10%, en general bastante menos). Además, esos cambios presentan sentidos contrarios, en ocasiones dentro de una misma zona, con aumento en algunas partes y disminución o estabilidad en otras.

Análisis espacial

Cuando se intenta una comparación espacial (relaciones entre tasas y PIB en las diferentes zonas) no se aprecia una relación clara entre ambas variables. Esta comparación espacial es pobre y tiene muchas limitaciones. En primer lugar, las tasas de generación de sedimento (que es lo que de manera más fiable permitiría evaluar la existencia o no de una aceleración geomorfológica que pueda estar relacionada con la actividad humana) se relacionan con las tasas de sedimentación en puntos concretos de manera parcial e indirecta, ya que hay muchos factores a tener en cuenta (especialmente la extensión de la cuenca de aporte, fracción de los sedimentos que puede ser transportada hacia el exterior, condiciones climáticas y de relieve, etc.).

Más sentido tiene, en principio, comparar los factores de aumento de las tasas de sedimentación con los del PIB, aunque esto también tiene limitaciones por lo comentado antes. Como se ha indicado anteriormente, los valores absolutos de las tasas de sedimentación en un punto son un “proxy” que no tiene una relación clara con los valores absolutos de las tasas de generación de sedimento (expresadas en t/ha/año; mm/año o cualquier unidad similar). No ocurre lo mismo con las variaciones relativas. Es razonable pensar que, si se incrementa la tasa de generación de sedimento en una región, las tasas de sedimentación en distintos lugares de la misma se incrementarán, *grosso modo*, de manera similar. Esto es, cabe esperar que los factores de aumento de unas y otras no sean muy diferentes. Por ello, los resultados obtenidos para regiones consideradas en

Australia, que muestran una elevada correlación entre factores de aumento del PIB y de las tasas de sedimentación, probablemente son reflejo de un aumento no muy distinto de las tasas de generación de sedimento.

Una comparación similar entre factores de aumento de las tasas de sedimentación y factores de aumento del PIB, para las grandes áreas analizadas (China, India, USA, Australia y los países o grupos de países en Europa), se muestra en la figura 4.1. Se señala que estos factores de aumento son independientes de la dimensión de la unidad estudiada, por lo que la comparación tiene sentido. Aunque se aborda la correlación y se obtiene el valor de R^2 , es evidente que con el número de datos disponible eso tiene un valor limitado. Es de interés señalar que cuando se elimina del análisis el dato de Estados Unidos, se obtiene un $R^2 = 0,65$. Esto introduce un sesgo por nuestra parte, pero se basa en dos consideraciones. La primera, que es el que más se aparta de la pauta general. La segunda, que según se ha comentado anteriormente y está ampliamente reflejado en la literatura, en Estados Unidos se implantaron medidas de conservación de suelos y mitigación de la erosión, antes que en ninguna de las otras regiones y con mayor intensidad. Este tipo de medidas parecen haber dado lugar a un desacoplamiento (al menos parcial) entre crecimiento económico y aumento de los procesos de erosión ligados a la perturbación del territorio, que se refleja, como se ha indicado más arriba, en que esa zona es la única en la cual no se aprecia aceleración marcada de las tasas de sedimentación en la segunda mitad del siglo XX.

La similitud entre estos resultados y los obtenidos de la comparación por regiones en Australia podría ser, de nuevo, una coincidencia. Pero también puede que sea demasiada coincidencia, teniendo en cuenta la diferencia de escala de las unidades estudiadas y las muy diferentes fuentes de los datos utilizados.

Evolución de los desastres naturales

Las comparaciones y correlaciones realizadas entre indicadores que expresan la modificación potencial (PBI) o real (LDI) de la superficie terrestre y la frecuencia de desastres debidos a inundaciones y deslizamientos, apuntan claramente a una relación causa-efecto entre ambos. Los coeficientes de correlación obtenidos en amplias zonas del mundo, muestran que esa relación puede ser muy significativa. Parece deducirse de ello que las actividades humanas probablemente son la

variable que en mayor medida está determinando la evolución temporal de los procesos citados.

Los factores de aumento de los desastres “hidrogeomorfológicos”, desde 1950, oscilan entre 10 y 35 en los continentes analizados. En ese mismo periodo, los factores de aumento del PIB variaron entre 4 y 22. Señalamos aquí este punto, que se comenta de nuevo más abajo.

Por otra parte, las precipitaciones muestran, con carácter general, unas variaciones limitadas durante el periodo analizado, y de sentido contrario según las regiones del mundo. Esas pequeñas variaciones y sus diferentes signos sugieren que las lluvias no proporcionan una explicación satisfactoria de las tendencias de aumento de las catástrofes naturales debidas a procesos geológicos superficiales, ni de la magnitud de ese aumento. Evidentemente, eso no implica que las lluvias intensas no sean el *desencadenante* de inundaciones y deslizamientos.

De confirmarse lo anterior, encontraríamos, en contra de lo que generalmente se supone, que el cambio climático no sería responsable del gran incremento que este tipo de desastres han experimentado desde mediados del pasado siglo, sino que ese incremento sería consecuencia del cambio geomorfológico, la magnitud de cuya variación es muchísimo mayor que la del anterior.

Una consecuencia de esto, si se confirma, es que las políticas de mitigación de desastres causados por procesos geológicos superficiales, deberían abordar sobre todo la reducción del cambio geomorfológico. Esta tarea es mucho más fácilmente abordable que la reducción del cambio climático y, además, se puede realizar en ámbitos nacionales o locales. No resulta ilógico suponer que su aplicación produciría mejores y más rápidos resultados que las acciones encaminadas a atajar el cambio climático.

Antropoceno

Los resultados obtenidos, tanto sobre las tasas de sedimentación como sobre la frecuencia de los desastres debidos a procesos geológicos superficiales muestran un aumento de alrededor de un orden de magnitud en un siglo. Para procesos geológicos, esto constituye un fortísimo incremento en un lapso temporal muy corto, muy posiblemente sin precedentes. Estos resultados son coherentes con la existencia de un cambio geomorfológico global, que representa una variación cualitativa y

cuantitativa muy significativa. Parece que, en efecto, estamos ante un nuevo modelo de evolución geomorfológica, que sería uno de los rasgos que caracterizan al Antropoceno. A la luz de los resultados presentados, el punto de inflexión en la intensificación de los procesos geomorfológicos superficiales se situó a mitad del siglo XX, después de la Segunda Guerra Mundial y coincidiendo con la Gran Aceleración, lo cual aporta argumentos adicionales a favor de considerar esa fecha como inicio de esa posible nueva época geológica. A nuestro juicio, se debería abandonar definitivamente la idea, mantenida hasta hace un par de años, de considerar el inicio de la Revolución Industrial como el comienzo del Antropoceno. Como se ha señalado en la introducción, el final de la Segunda Guerra Mundial, además de ser una fecha importante en la historia de la humanidad, parece serlo también en la historia del planeta, marcando la plena entrada del mismo en el Antropoceno.

General

Según se ha comentado, es lógico que las tasas de erosión aumenten en menor medida que el PIB, debido a que una parte importante de este se relaciona con actividades que no afectan directamente al territorio. Asimismo, es lógico que los desastres naturales aumenten en mayor medida que el PIB. Esto es así porque, tal como se ha expuesto en la introducción de esta memoria y en la formulación del modelo que se intenta comprobar, el aumento del PIB influye sobre el *número de desastres naturales recogidos en las bases de datos* (que es la variable utilizada) de tres maneras distintas: mejora del proceso de recogida de datos, lo que da lugar a un aumento meramente estadístico; aumento de la exposición humana, por lo que los desastres deberían aumentar aunque no lo hicieran los procesos peligrosos; aumento de la frecuencia o intensidad de los procesos, debido al cambio climático (aumento de eventos extremos) y, sobre todo, a la modificación de la superficie terrestre. El efecto combinado de estos tres factores debería dar lugar a que el aumento de sus efectos sobre los riesgos fuera superior al aumento simple del PIB, cosa que realmente ocurre. Los resultados obtenidos en relación con ambas manifestaciones del cambio geomorfológico son por tanto coherentes con el modelo.

Los resultados presentados apoyan fuertemente la idea de que existe un acoplamiento entre crecimiento demográfico y mejora socioeconómica, e intensificación de los procesos geomorfológicos, con las secuelas de aumento de la generación y acumulación de sedimento y de los desastres

debidos a dichos procesos, mucho más acusado en los segundos que en el primero. Esto es algo análogo a lo que ha ocurrido y sigue ocurriendo con el cambio climático (aumento de población y consumo – mayor generación de gases de efecto invernadero – calentamiento global- cambio climático – consecuencias del cambio). Como es natural, las iniciativas y planes para mitigar los efectos no deseados del calentamiento global no proponen que se detenga el desarrollo socio-económico. Lo que proponen es tomar medidas para desacoplar este del calentamiento y sus consecuencias, modificando nuestras actividades. De manera similar, una consecuencia que se deriva del análisis que aquí presentamos (si nuevas investigaciones confirman la validez del modelo) es que habría que poner en práctica medidas que permitan lograr ese desacoplamiento. Esto es posible y hay ejemplos de ello.

El comentado comportamiento “anómalo” de la variación de las tasas de sedimentación durante la segunda mitad del siglo XX en Estados Unidos, muy probablemente refleja el desacoplamiento parcial logrado a través de las políticas de conservación de suelos y reducción de la erosión. Por otro lado, seguramente no es casual que los factores de aumento de los desastres de tipo geomorfológico, desde 1950, hayan sido mucho menores en Europa que en los demás continentes. Este es sin duda el continente con un grado de desarrollo más alto para el conjunto, y en el que desde hace más tiempo y con carácter más general se han aplicado medidas para la mitigación de riesgos naturales, lo que parece haber resultado en un desacoplamiento entre crecimiento del PIB y aumento de los desastres. No es sorprendente, en este mismo sentido, que los factores de aumento claramente más altos se hayan dado en Asia (casi duplicando al factor de aumento del PIB) y en África (donde se multiplica por más de 6).

Es interesante señalar que los análisis de la evolución temporal de los procesos (erosión/sedimentación y desastres geomorfológicos) arrojan resultados que se ajustan bien, en conjunto y con pocas excepciones, a las predicciones realizadas a partir del modelo. Eso, sin embargo, ocurre en mucha menor medida con los resultados de los análisis espaciales (mejor en el caso de los desastres que en el de las tasas de sedimentación). La explicación más probable de esto es que en los análisis temporales se cumple en gran medida la condición de “a igualdad de otros factores”. Cada zona se compara consigo misma a lo largo del tiempo, y los únicos factores que es esperable cambien en ella de manera significativa son los debidos al clima y a la actividad humana. Por el contrario, al realizar el análisis espacial se están comparando áreas muy diversas en relación con muy diferentes variables. No es por tanto sorprendente que la relación que

se muestra con lo que parece ser el impulsor principal (la modificación del territorio por la actividad humana), se manifieste de manera menos clara. Las diferencias debidas a las otras variables que influyen en el proceso pueden ser aquí mucho mayores.

Cautelas e incertidumbres

El hecho de que los resultados obtenidos sean en su gran mayoría coherentes con la hipótesis que se ha intentado contrastar, no debe hacernos olvidar que hay puntos débiles e incertidumbres en los datos que se han presentado aquí y en las interpretaciones de los mismos. A continuación se comentan algunos, pero es muy posible que haya otros que se nos hayan pasado por alto.

Aunque el número de lugares en los que se han obtenido datos sobre tasas de sedimentación, en las que se apoya el análisis, supera el millar, ese es un número reducido para establecer de manera robusta la validez del modelo a escala global.

Además, dichos datos se refieren a unas pocas zonas (ciertamente, diversas y razonablemente representativas del conjunto, pues cubren aproximadamente un cuarto de la superficie continental), y dentro de cada una de las zonas la distribución de los puntos es bastante irregular, concentrándose sobre todo en las áreas más pobladas (como, por otro lado, era de esperar, pues en ellas se concentran las investigaciones).

Lo anterior introduce un factor adicional a tener en cuenta. Es frecuente que las investigaciones sobre tasas de sedimentación a lo largo del tiempo, se realicen preferentemente en zonas donde los investigadores esperan encontrar cambios acusados de las mismas. Eso podría dar lugar a un sesgo en la población de datos utilizada, que podría estar desequilibrada hacia este tipo de lugares. Creemos que este riesgo, sin duda real, se reduce bastante en nuestro caso, puesto que la mayoría de los datos recopilados se refieren a trabajos cuyo principal objetivo no era el estudio de las tasas de sedimentación, sino otro tipo de temas (contaminación, análisis ecológicos, etc.). Esto tiene la ventaja de reducir el riesgo de sesgo, y el inconveniente de que en muchos casos ha sido necesario calcular las tasas de sedimentación a partir de los datos presentados por los autores, y en otros (los menos) estimarlas partiendo de esos mismos datos.

La distribución temporal de los datos sobre tasas de sedimentación es también muy irregular. Como es natural, la mayoría de los datos obtenidos corresponden a los tiempos más recientes, y son escasos los datos de buena calidad para el periodo anterior al siglo XX. En bastantes casos se ha podido obtener un solo dato de tasas de sedimentación, correspondiente al periodo posterior a 1900 (aproximadamente). En este último caso, como se ha señalado reiteradamente, para el cálculo de promedios y las representaciones gráficas correspondientes, se adoptó el criterio de asignar los valores al periodo 1900-1950. Esto es, la opción menos favorable para el modelo que se intenta comprobar.

La cantidad de datos obtenida y la baja resolución temporal de muchos de ellos han obligado a establecer tres grandes periodos cronológicos, que además tienen límites un tanto difusos.

Finalmente, los promedios que se han calculado en los distintos casos (grandes áreas analizadas o ambientes y regiones/cuencas dentro de las mismas), son medias simples, sin ningún intento de ponderación de lo que representa la contribución de cada dato al conjunto.

Todo lo anterior tiene como consecuencia que la imagen que se obtiene sobre la evolución de las tasas sea también un tanto difusa y que debe tomarse como una “caricatura”. Pero eso no implica, en nuestra opinión, que la caricatura no ofrezca una buena representación de la realidad, como ocurre con las caricaturas de personas. Es un “cartoon”, no una “true likeness”, pero ambas permiten mostrar los rasgos esenciales de lo que se representa.

En el análisis realizado sobre los desastres naturales, se han tomado todos los países de cada área considerada, lo que implica que se han incluido territorios de características muy diferentes en extensión, densidad de población, relieve, constitución geológica, geomorfología, clima, contexto socio-económico, calidad de los datos, etc. Naturalmente, la degradación del territorio, manifestación del “cambio geomorfológico” que según se ha indicado parece ser una variable significativa en la ocurrencia de los procesos que dan lugar a los desastres y al aumento de la erosión, no es la única variable a tener en cuenta. Será necesario profundizar en este tipo de análisis, agrupando los países en conjuntos más homogéneos desde el punto de vista de los factores que pueden intervenir en los procesos analizados, no simplemente de acuerdo con el continente en el que se ubican.

Conclusiones

A partir de lo anterior, se pueden establecer una serie de conclusiones, que se relacionan con los objetivos formulados en la introducción.

Determinar si los datos sobre tasas de generación de sedimento o, consecuencia de lo anterior, de sedimentación, muestran un incremento generalizado en distintas cuencas, países o regiones del mundo.

Los resultados muestran, con muy pocas excepciones, que se ha producido un aumento de las tasas de sedimentación, en todo tipo de ambientes y zonas geográficas. Es por tanto razonable suponer (dado el tamaño de la muestra territorial utilizada), que se trata de un proceso de ámbito global.

Determinar si existe en el mundo un incremento generalizado de la frecuencia de desastres debidos a procesos geológicos superficiales.

Los desastres debidos a procesos geológicos superficiales muestran un claro aumento en todos los continentes y regiones, con factores de aumento que oscilan entre 3 y 40 desde mitad del siglo XX. Esto también tiene carácter global.

Determinar si las tendencias de variación temporal de las tasas de sedimentación y de los desastres naturales debidos a inundaciones y deslizamientos muestran una aceleración en los últimos tiempos.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto esa aceleración, que en la gran mayoría de los casos se manifiesta a partir de la Segunda Guerra Mundial, si bien en algunos comienza algo antes (USA) y en otros es patente, para ambos procesos, a partir de los años 70 (Sudamérica, China).

Evaluar si existen o no relaciones entre las tendencias de variación temporal de los procesos geomorfológicos y los principales impulsores naturales y humanos, entendiendo por tales las precipitaciones en el caso de los primeros y el PBI entre otros indicadores sintéticos de la intensidad de la presión sobre el territorio para los segundos.

La comparación entre las tendencias de variación de las tasas de sedimentación y el PIB, en los tres lapsos temporales que se han utilizado para el análisis, muestra un paralelismo estrecho en la gran mayoría de los casos. La similitud entre ambas mejora cuando se consideran áreas grandes, y en general también cuando el análisis se hace tomando

solamente puntos con datos sobre tasas de sedimentación en los tres lapsos citados.

En las zonas en las que las tasas se han podido determinar con mejor resolución temporal, el paralelismo es notable no solo con el PIB, sino con otros indicadores de la intensidad de las actividades humanas.

La relación parece mucho más estrecha en el caso de los riesgos debidos a procesos geomorfológicos, para los cuales la resolución temporal es mucho mejor. En este caso se obtienen coeficientes de correlación elevados, y de mayor robustez.

Con respecto a lo anterior, las comparaciones realizadas hasta ahora entre las tendencias de variación de las precipitaciones y las de las tasas de sedimentación o de la frecuencia de desastres geomorfológicos, no muestran relaciones entre estas variables, a la escala del análisis hasta ahora llevado a cabo. Sería deseable acometer un análisis estadístico más detallado para tratar de dilucidar este punto.

Evaluar si existe algún tipo de relación entre la distribución espacial de las tasas de sedimentación o la frecuencia de desastres geomorfológicos, e indicadores de la intensidad de la actividad humana en distintas zonas del mundo (“presión geomorfológica humana”).

Los resultados obtenidos muestran una relación, no muy firmemente establecida, entre tasa de acumulación (¿tasa de generación?) de sedimento y densidad de población/intensidad de las actividades humanas, o su ritmo de aumento. Se aprecia una cierta correlación entre los factores de aumento de las tasas de sedimentación y del PIB, cuando se consideran las grandes áreas analizadas, si bien esto tiene un significado limitado por el reducido número de grandes zonas considerado.

La relación entre degradación del territorio (expresada por medio del “Land Degradation Index”) y la frecuencia de desastres debidos a procesos geológicos superficiales, se ha podido establecer de manera más firme.

Dilucidar si se confirman las evidencias de una aceleración de los procesos geomorfológicos de ámbito global que constituya una de las características definitorias del Antropoceno.

Las tasas de sedimentación muestran, con muy escasas excepciones, una clara tendencia al aumento creciente en todas las regiones analizadas y a escalas territoriales muy diversas. En algunos casos ese aumento es de

tipo aritmético, pero en la mayoría es geométrico, con factores de multiplicación mayores entre 1950-actualidad que entre 1900-1950.

También es patente, a la luz de los resultados obtenidos, que la frecuencia de los desastres de tipo geomorfológico aumentó considerablemente y de manera acelerada desde mitad de siglo pasado.

Teniendo en cuenta que ambos procesos están impulsados sobre todo por la actividad humana, los resultados presentados apoyan la idea de que la intensificación de los procesos geomorfológicos y de los riesgos asociados en una de las características del Antropoceno, y que dicha aceleración se produjo a partir de mitad del siglo XX. Esto es, estarían de acuerdo con la propuesta que en ese sentido hicimos en 2011 y 2012, más que con la de tomar en inicio de la Revolución Industrial como comienzo de esa época.

En resumen, la gran mayoría de los nuevos datos aportados apoyan la validez del modelo propuesto: **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*).

Algunas tareas a futuro.

Resulta oportuno aquí hacer sugerencias sobre algunas líneas de trabajo que permitirían eliminar o reducir incertidumbres y hacer este tipo de análisis más robusto, y que por las circunstancias de tiempo y medios que han condicionado nuestra investigación, no se han podido abordar (cosa habitual en cualquier trabajo de investigación). Pensamos que estas sugerencias pueden ser de utilidad para otros investigadores interesados en seguir este tema de trabajo, y en parte constituyen un esbozo de plan de trabajo futuro para el presente autor.

En primer lugar, sería muy conveniente extender el tipo de análisis aquí presentado a otras áreas geográficas, para tratar de cubrir una proporción mayor de la superficie continental del planeta.

Para determinar de manera más precisa las tasas de sedimentación promedio en cada región, sería deseable obtener medias ponderadas para las distintas áreas geográficas y ambientes analizados, teniendo en cuenta

número de datos, superficie relativa, etc. Esto requiere un previo análisis de los criterios y procedimientos de ponderación a aplicar.

Para abordar la comparación espacial sobre una base más firme y poder profundizar en el análisis, sería deseable obtener tasas de generación de sedimento para cuencas o países con datos adecuados (a partir de la literatura o de series de datos sobre caudal sólido en ríos) y compararlas con la densidad de PIB (“presión geomorfológica humana”) en las mismas unidades de análisis, cosa que no se ha podido abordar en este trabajo.

Además, sería muy conveniente hacer el análisis para conjuntos de cuencas o regiones con características lo más homogéneas posible con respecto a variables tales como clima, relieve, contexto geológico y geomorfológico, etc. Se trataría, en la medida de lo posible, de aislar las variables causales cuyo papel se desea analizar (precipitaciones y actividades humanas), de las demás variables.

En el caso de cuencas lacustres o represas, se puede hacer una primera aproximación basada en la delimitación de la cuenca correspondiente y la atribución del volumen de sedimento acumulado en un periodo dado (inferido a partir de las tasas de sedimentación), al conjunto de la cuenca, con una distribución uniforme.

Sería deseable hacer ambas estimaciones para al menos dos lapsos temporales en cada cuenca o unidad de análisis.

Se dispone de la base de datos de precipitaciones del GPCC, para todo el planeta, referida a una cuadrícula de 2,5 x 2,5 grados y con cobertura desde 1900 a 2010. A partir de dicha base sería muy deseable analizar las posibles correlaciones temporales entre distintos parámetros relacionados con las precipitaciones (y sus factores de aumento) con los correspondientes a las tasas de sedimentación o los desastres naturales. En primer lugar, para las unidades de análisis aquí presentadas. En segundo lugar, ampliándolo a otras regiones del mundo.

Igualmente, sería muy ilustrativo determinar si hay alguna correlación espacial entre los factores de aumento de parámetros significativos relacionados con las lluvias, y los relativos a tasas de sedimentación o desastres naturales. Y comparar esto con los resultados obtenidos a partir del PIB.

Finalmente, sería deseable desarrollar, a partir del modelo conceptual propuesto, un modelo numérico que permita profundizar en el análisis de

las posibles interrelaciones entre variables, cuantificándolo en mayor medida y haciéndolo más robusto.

Tabla RC.1. Resumen de los resultados obtenidos para las distintas áreas analizadas.

Zona	Tasa promedio DD (todos)	Tasa promedio DD (3 datos)	Factor aumento (todos)	Factor Aumento (3 datos)	Factor aumento PIB	Aceleración Post 1950 (todos)	Aceleración Post 1950 (3 datos)
China	7,42	3,89	5,09	3,77	10,72	A	Sí
India	11,26	10,09	4,88	4,38	6,80	No	Sí
USA	12,47	4,86	3,98	2,12	28,50	Sí	A
Europa	9,64	2,96	8,05	2,67	17,83	Sí	Sí
Australia	11,09	10,72	11,97	21,43	46,93	No	A
R. Plata	8,50			11,00	24,00		Sí
N España	7,00			8,00	11,00		Sí

Notas. Las tasas promedio para el último periodo (DD), al igual que los factores de aumento en el último siglo, se han calculado tomando todos los puntos (todos) y solamente los puntos con datos para los tres lapsos temporales (3 datos). Se indica si se aprecia aceleración de las tasas de sedimentación a partir de mitad de siglo, bien sea geométrica (Sí) o aritmética (A).

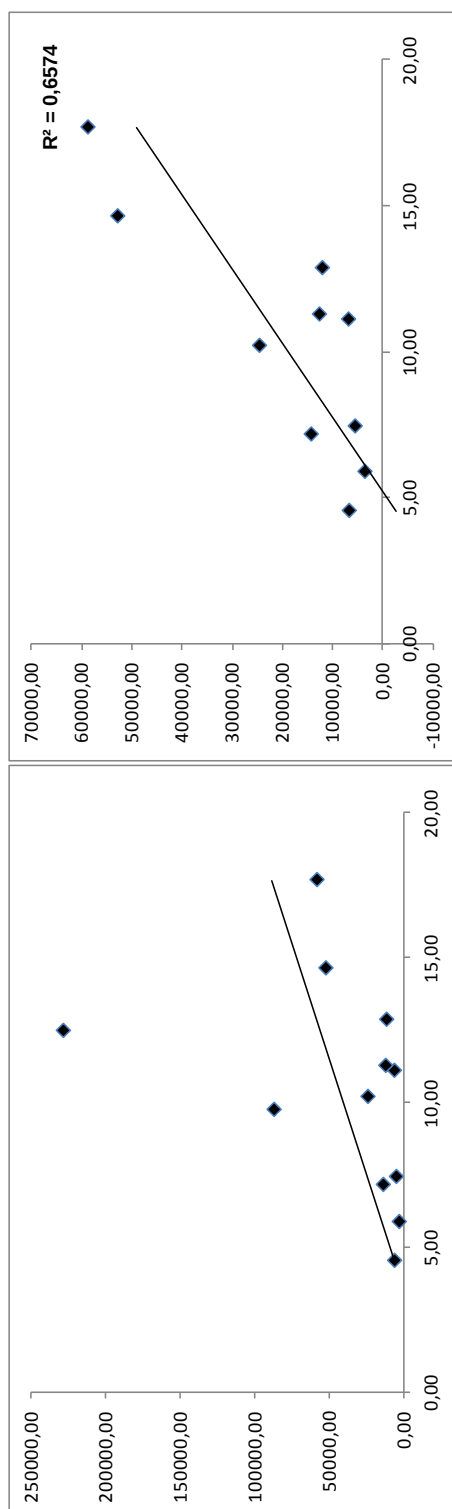


Figura RC.1. Izquierda: Relación espacial PIB promedio 1950-2010 / cuadrado de su factor de aumento entre CC-DD y tasas medias de sedimentación de todos los puntos con datos en los distintos países estudiados. Derecha: La misma relación suprimiendo Estados Unidos.

5. REFERENCIAS

5. REFERENCIAS

- Acharya G, Cochrane TA, Davies T, Bowman E. 2009. The influence of shallow landslides on sediment supply: a flume-based investigation using sandy soil. *Eng Geol*;109 (3–4):161–169.
- Albrecht, A, Reiser, R, Lück, A, Stoll, J, Giger, W. 1998. Radiocesium Dating of Sediments from Lakes and Reservoirs of Different Hydrological Regimes. *Environmental Science and Technology*. 32, 1882-1887.
- Ali EM, El-Magd IA. 2016. Impact of human interventions and coastal processes along the Nile Delta coast, Egypt, during the past twenty-five years. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 42, 1-10.
- Allmendinger, N, Pizzuto J, Moglen G, Lewicki M. 2007. A Sediment Budget for an Urbanizing Watershed, 1951-1996, Montgomery County, Maryland, U.S.A. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. 43, 6: 1483-1498.
- Alonso González, M. 2015. Cantabrian estuary sediment analysis by gamma spectroscopy of ^{210}Pb and ^{137}Cs : sedimentation rate, dating and biodiffusion effects. *Trabajo Fin de Grado en Física Universidad de Cantabria*. 52pp.
- Alonso M, Remondo J, Bonachea J, Fuffa E, Mañanes A, Cendrero A. 2015. Datación e interpretación de la sedimentación reciente en estuarios mediante la técnica de ^{210}Pb en exceso. En, P. Galve, J. M. Azañón, J. V. Pérez Peña y P. Ruano (eds.): *Una visión global del cuaternario. El hombre como condicionante de procesos geológicos (XIV Reunión Nacional de Cuaternario, Granada)*: 267-270.
- Álvarez Iglesias, P, Quintana, B, Rubio, B, Pérez Arlucea, Marta. 2007. Sedimentation rates and trace metal input history in intertidal sediments from San Simón Bay (Ría de Vigo, NW Spain) derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology. *Journal of Environmental Radioactivity*. 98, 229-250.
- Ameghino F. 1884. Excursiones geológicas y paleontológicas en la provincia de Buenos Aires. *Boletín Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*. 6, 161-257.
- Ameghino F. 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*. Vol. 6. 1027 pp.
- Amsler ML, Drago EC. 2009. A review of the suspended sediment budget at the confluence of the Paraná and Paraguay Rivers. *Hydrological Processes*; Doi: 10.1002/hyp.7390.
- Angheben E. 2013. Estudio ecohidrológico de la cuenca urbana de La Cava de Villa Itatí. Quilmes, provincia de Buenos Aires. Universidad Nacional de la Plata. MS Thesis.
- Appleby, P. 2000. Radiometric dating of sediment records in European mountain lakes. *Paleolimnology and ecosystem dynamics at remote European Alpine lakes*. 59, 1-14.
- Appleby, P. 2004. Environmental change and atmospheric contamination on Svalbard: sediment chronology. *Journal of Paleolimnology*. 31, 433-444.

- Appleby PG, Oldfield F. 1978. The calculation of ^{210}Pb date assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena*; 5: 1-8.
- Appleby PG, Oldfield F. 1983. The assessment of ^{210}Pb date from sites with varying sediment accumulation rates. *Hydrobiologia*; 103: 29-35.
- Appleby, P, Shotyk, W, Fankhauser. 1997. Lead – 210 age dating of three peat cores in the Jura Mountains, Switzerland. *Water, Air, and Soil Pollution*. 100, 223-231.
- Appleby PG, Nolan PJ, Oldfield F, Richardson N, Higgitt SR. 1988. Pb-210 dating of lake sediments and ombrotrophic peats by gamma assay. *The Science of Total Environment*; 69: 157-177.
- Araneda A, Torrejón F, Aguayo M, Torres L, Cruces F, Cisternas M, Urrutia R. 2007. Historical records of San Rafael glacier advances (North Patagonian Icefield): another clue to 'Little Ice Age' timing in southern Chile?. *The Holocene* 17 (7): 987–98.
- Arce A. 1988. La ría de San Martín de la Arena. Análisis histórico-económico de sus distintos asentamientos portuarios. Tesina de Licenciatura. Escuela Superior de la Marina Civil, Universidad de Cantabria.
- Audry, S, Schäfer, J, Blanc, G, Jouanneau, J. 2004. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France). *Environmental Pollution*. 132, 413-426.
- Australian Bureau of Meteorology; <http://www.bom.gov.au/>
- Australian Bureau of Statistics; Australian National Accounts: State Accounts. Disponible en <http://www.abs.gov.au>.
- Bai X, Zhang X, Long Y, Liu X, Siyu Z. 2013. Use of ^{137}Cs and ^{210}Pb measurements on deposits in a karst depression to study the erosional response of a small karst catchment in Southwest China to land-use change. *Hydrological Process*. 27, 822-829.
- Bai X, Zhang X, Wang S. 2011. The application of caesium-137 measurements to estimate recent sedimentation rates in a typical karst depression of Guizhou Plateau, China. *Chin.J.Geochem*. 30, 84-92.
- Bakker MM, Govers G, van Doorn A, Quetier F, Chouvardas D, Rounsevell M. 2008. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: the importance of landscape pattern. *Geomorphology*; 98: 213-226.
- Balogh S, Engstrom D, Almendinger J, McDermott C, Hu J, Nollet Y, Meyer M, Kent Johnson D. 2009. A sediment record of trace metal loadings in the Upper Mississippi River. *Journal of Paleolimnology*. 41: 623–639.
- Barnard PL, Owen LA, Sharma MC, Finkel RC. 2001. Natural and human-induced landsliding in the Garhwal Himalaya of northern India. *Geomorphology*; 40: 21-35.
- Bao K, Xiac W, Lu X, Wang G. 2010. Recent atmospheric lead deposition recorded in an ombrotrophic peat bog of Great Hinggan Mountains, Northeast China, from ^{210}Pb and ^{137}Cs dating. *Journal of Environmental Radioactivity*. 101, 773-779.
- Baskaran M, Miller C, Kumar A, Andersen E, Hui J, Selegean J, Creech C, Barkach J. 2015. Sediment accumulation rates and sediment dynamics using

- five different methods in a well-constrained impoundment: Case study from Union Lake, Michigan. *Journal of Great Lakes Research*. 41, 2, 607-617.
- Baskaran M, Nix J, Kuypers C, Karunakara N. 2014. Problems with the dating of sediment core using excess ^{210}Pb in a freshwater system impacted by large scale watershed changes. *Journal of Environmental Radioactivity*. 138, 355-363.
- Beek LPH van, Asch THWJ van. 2004. Regional assessment of the effects of land-use change on landslide hazard by means of physically based modelling. *Nat Hazards*; 31:289–304.
- Begy, R, Cosma, C, Timar, A. 2009. Recent changes in Red Lake (Romania) sedimentation rate determined from depth profiles of ^{210}Pb and ^{137}Cs radioisotopes. *Journal of Environmental Radioactivity*. 100, 644-648.
- Begy, R, Simon, H, Kelemen, S, Reizer, E, Preoteasa, L. 2015. Determination of sedimentation rates of a northern Dabube delta lake by ^{210}Pb method. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 10, 191-194.
- Beguiría S. 2006. Changes in land cover and shallow landslide activity: a case study in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*; 74:196–206.
- Belluci, L, Frignani, M, Cochran, J, Albertazzi, S, Zaggia, L, Cecconi, G, Hopkins, H. 2007. ^{210}Pb and ^{137}Cs as chronometers for salt marsh accretion in the Venice Lagoon – links to flooding frequency and climate change. *Journal of Environmental Radioactivity*. 97, 85-102.
- Benedetti M, Daniels J, Ritchie J. 2007. Predicting vertical accretion rates at an archaeological site on the Mississippi River floodplain: Effigy Mounds National Monument, Iowa. *Catena*. 69, 134–149.
- Benedetti M. 2003. Controls on overbank deposition in the Upper Mississippi River. *Geomorphology*. 56, 271–290.
- Benoit G, Rozan T. 2001. ^{210}Pb and ^{137}Cs dating methods in lakes: a retrospective study. *Journal of Paleolimnology*. 25, 455–465.
- Benoit G, Rozan TF, Patton PC, Arnold CL. 1999. Trace metals and radionuclides reveal sediment sources and accumulation rates in Jordan Cove, Connecticut. *Estuaries*; 22 (1): 65-80.
- Bertranda S, Boësa X, Castiaux J, Charletb, F, Urrutiac, R, Espinozac, C, Lepointd, G, Charliere, B, Fage, N. 2005. Temporal evolution of sediment supply in Lago Puyehue (Southern Chile) during the last 600 yr and its climatic significance. *Quaternary Research*; 64 (2): 163-74.
- Beverly H, Doyle M, Barros V. 2006. Tendencias regionales de la precipitación. In: Barros V, Clarke R, Silva Días P, editors. *El Cambio Climático en la cuenca del Plata, Proyecto SGPII 057: Trends in the hidrological cycle of the Plata basin: Raising awareness and new tools for water management*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires.
- Bezerra MAO. 1999. Uso de multi-traçadores na reconstrução do Holoceno no Pantanal Mato-grossense, Corumbá, MS. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade de São Carlos (Brazil).

- Blewett R (ed.). 2012. *Shaping a Nation: A Geology of Australia*, Geoscience Australia and ANU E Press, Canberra. 15p.
- Bobrovitskaya NN, Kokorev AV, Lemeshko NA. 2003. Regional Patterns in recent trends in sediment yields of Eurasian and Siberian rivers. *Global and Planetary Change*; 39: 127-146.
- Boletta PE, Ravelo AC, Planchuelo AM, Grilli M. 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management*; 228: 108–114.
- Bolt J, van Zanden JL. 2013. The Maddison Project; the first update of the Maddison Project. Re-estimating growth before 1820. WP -4. Univ. Gronningen (<http://www.ggdc.net/maddison/maddison-project>)
- Bonachea J, Remondo J, González-Díez A, Díaz de Terán JR, Cendrero A. 2009. Landslide risk modelling: an experience in northern Spain. In: Malet JP, Remaitre A, Boogard T (eds). *Landslide processes. From geomorphological mapping to dynamic modelling*. CERG, Strasbourg: 259-264.
- Bonachea J, Bruschi VM, Hurtado M, Forte LM, da Silva M, Etcheverry R, Cavallotto JL, Dantas M, Pejon O, Zuquette L, Bezerra MA, 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.
- Bonetto AA, Castello HP, Wais IR. 2006. Stream regulation in Argentina, including the superior Paraná and Paraguay rivers. *Regulated Rivers: Research & Management*; 1: 129 – 143.
- Bostock H, Ryan D, Brooke B, Packett B, Hancock G, Pietsch T, Revill A, Leeming R, Moss P, Harle K. 2006. Sediment accumulation and Holocene evolution of the Fitzroy River lower floodplain, central Queensland, Australia. Cooperative Research Centre for Coastal Zone, Estuary and Waterway Management. Technical Report 48. 74p.
- Boyle J, Rose N, Bennion H, Yang H, Appleby P. 1999. Environmental impacts in the Jiangnan plain: evidence from lake sediments. *Water, Air, and Soil Pollution*. 112, 21-40.
- Bradbury J, Colman S, Reynolds R. 2004. The history of recent limnological changes and human impact on Upper Klamath Lake, Oregon. *Journal of Paleolimnology*. 31, 151–165.
- Brandenberger, J, Crecelius E, Louchouart P, Cooper S, McDougall K, Leopold E, Liu G. 2008. Reconstructing trends in hypoxia using multiple paleoecological indicators recorded in sediment cores from Puget Sound, WA. National Oceanic and Atmospheric Administration, Pacific Northwest National Laboratory Report No. PNWD-4013, 158pp.
- Brath A, Montanari A, Moretti G. 2006. Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation (with uncertainty). *Journal of Hydrology*; 324: 141-153.
- Brea J, Busquets M, Spalletti P. 1996. Estudio sedimentológico preliminar de la Cuenca Inferior del Río Bermejo. Evaluación del impacto de las presas de la Alta Cuenca del Río Bermejo en la morfología del tramo inferior. Informe LHA 131-01-96. INCYTH-COREBE, Argentina.

- Brea J, Spalletti PD, Spalletti L, Rafaelli S. 1999a. Generación y transporte de sedimentos en la Alta Cuenca del río Bermejo. Impacto en la Hidrovía, Delta del Paraná y Río de la Plata. Producción de sedimentos en la Alta Cuenca del río Bermejo. Informe LHA 177-02-99. PEA-FMAM-OEA-PNUMA. INA. Ezeiza, Argentina.
- Brea J, Busquets M, Spalletti P. 1999b. Generación y transporte de sedimentos en la Alta Cuenca del río Bermejo. Impacto en la Hidrovía, Delta del Paraná y Río de la Plata. Informe LHA 177-04-99. PEA-FMAM-OEA-PNUMA. INA. Ezeiza, Argentina,
- Brea J, Busquets M, Spalletti P. 1999c. Análisis de la dinámica fluviomorfológica del río Bermejo Inferior. Informe LHA 178-02-99. PEA-FMAM-OEA-PNUMA. INA. Ezeiza, Argentina.
- Brearely A. 2008. Geomorphology of the Blackwood Estuary-Hardy Inlet. Revisiting the Blackwood River and Hardy Inlet-40 years of change- Chapter 3. 22p.
- Brierly GJ, Murn CP. 1997. European impacts on downstream sediment transfer and bank erosion in Cobargo Catchment, New South Wales, Australia. *Catena*; 31: 119-136.
- Brierly GJ, Stankoviansky M (eds). 2003. Special Issue Geomorphic Responses to Land Use Changes. *Catena*; 51 (2-3): 173-347.
- Brooke B. 2003. The role of sedimentological information in estuary management. *Proceedings of Coast to Coast 2002 - "Source to Sea" Conference, Tweed Heads*. 31-34.
- Brooks A, Brierley G. 1997. Geomorphic responses of lower Bega River to catchment disturbance, 1851-1926. *Geomorphology*. 18, 291-304.
- Brown H. 1956. Technological denudation. In: Thomas WL, ed. *Man's role in changing the face of the earth*, Univ. of Chicago Press, Chicago; 1023-1032.
- Brunsden D. 2001. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. *Catena*; 42: 99-123.
- Brunsden D, Thornes JB. 1979. Landscape sensitivity and change. *Institute of British Geographers Transactions*; 4: 463-484.
- Brush G, Davis F. 1984. Stratigraphic evidence of human disturbance in an estuary. *Quaternary research*. 22, 91-108.
- Brush G. 1989. Rates and patterns of estuarine sediment accumulation. *Limnology and Oceanography*. 34, 7, 1235-1246.
- Bruschi VM, Bonachea J, Remondo J, Rivas V, Gómez J, Salas L, Fernández G, Soto J, Cendrero A, Méndez G, Naredo JM, Hurtado M, Forte LM, da Silva M, Etcheverry R, Cavallotto JL, Dantas M, Pejon O, Zuquette L. 2008. ¿Existe un cambio geomorfológico global acoplado a la actividad económica? In: Cendrero A, Gómez J, Fernández PL, Quindós L, Ródenas C, Saiz C, eds. *Contribuciones científicas en memoria del Profesor Jesús Soto*, Ediciones de la Universidad de Cantabria, Santander: 31-54.
- Bruschi VM, Bonachea J, Remondo J, Forte LM, Hurtado MA, Cendrero A. 2012. ¿Hemos entrado ya en una nueva época de la historia de la Tierra? *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat*; 105 (1): 1-12.

- Bruschi VM, Bonachea J, Remondo J, Gómez-Arozamena, J, Rivas V, Méndez G, Naredo JM, Cendrero A. 2013a. Analysis of geomorphic systems' response to natural and human drivers in northern Spain: Implications for global geomorphic change. *Geomorphology*; 196: 267–279.
- Bruschi VM, Bonachea J, Remondo J, Gómez-Arozamena J, Rivas V, Barbieri M, Capocchi S, Soldati M, Cendrero A. 2013b. Land management versus natural factors in land instability; some examples in northern Spain. *Environmental Management*; 52: 398-416.
- Bujan, A., Massobrio, M., Castiglioni, M., Yáñez, M., Ciallella, H., Fernández, J., Santanatoglia, O.J., Chagas, C., 2003. Soil erosion evaluation in a small basin through the use of 137Cs technique. *Soil Tillage Res*; 69:127-137.
- Byrne R, Reidy L. 2005. Bolinas Lagoon Ecosystem Restoration Feasibility Project: Recent (1850 - 2005) and Late Holocene (AD 400 – AD 1850) Sedimentation Rates at Bolinas Lagoon, Marin County, California. UC Berkeley. 81pp.
- Cameron N, Schnell O, Rautio M, Lami A, Livingstone D, Appleby P, Dearing J, Rose N. 2002. High – resolution analyses of recent sediments from a Norwegian mountain lake and comparison with instrumental records of climate. *Journal of Paleolimnology*. 28, 79-93.
- Cavallotto JL. 1988. Morfología y dinámica sedimentaria del Río de la Plata. Informe Final de Beca de Estudio. C.I.C-S.H.N. Buenos Aires, 87 pp.
- Cavallotto JL. 2002. Evolución holocena de la llanura costera del margen sur del Río de la Plata. *Revista Asociación Geológica Argentina*; 57(4): 376-388.
- Cavallotto JL, Violante RA, Colombo F. 2005. Evolución y cambios ambientales de la llanura costera de la cabecera del Río de la Plata. *Revista Asociación Geológica Argentina*; 60 (2): 353-367.
- [Carrera J](#), [Vázquez-Suñé E](#), [Simó JA](#), [Gámez D](#), [Salvany JM](#). 2005. Variación de las tasas de sedimentación en el Complejo Detrítico Superior del Delta del Llobregat (Barcelona): su relación con causas eustáticas, climáticas y antrópicas. *Geogaceta*; 38: 175-178.
- Carvalho O, Guimaraes R, Freitas L, Gomes-Loebmann D, Gomes RA, Martins ER, Montgomery DR. 2010. Urbanization impacts upon catchment hydrology and gully development using mutli-temporal digital elevation data analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*; 35: 611–617.
- Cearreta A, Alday M, Irabien MJ, Etxebarria 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 y predicción de las interacciones entre seres humanos y medio natural. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid. 77 pp.
- 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.
- Cendrero A, Díaz de Terán JR, González D, Mascitti V, Rotondaro R, Tecchi R. 1993. Environmental diagnosis for planning and Management in the high

- Andean region: the Biosphere Reserve of Pozuelos, Argentina. *Environmental Management*; 17 (5): 683-703.
- Cendrero A, Remondo J, Rivas V. 2005. Influencia humana sobre los procesos geológicos superficiales; consecuencias ambientales. In: Naredo JM, Gutiérrez L, eds. *La incidencia de la especie humana sobre la faz de la Tierra (1955-2005)*. Universidad de Granada - Fundación César Manrique, Granada: 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. *Geografia Fisica e Geodinamica Quaternaria*:29: 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, Aplicação. Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Lisboa:19-38.
- Cendrero A, Forte LM, Hurtado MA, Bonachea J, Remondo J, Rivas V, Dantas M, Bezerra MAO, Naredo JM, Méndez G. 2010. Cambio global y usos del suelo ¿qué está ocurriendo con la epidermis de la tierra? *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Agronómicas y Veterinarias de Buenos Aires, Argentina*. Tomo LXIII: 63-96.
- Cendrero A, Bruschi VM, Forte LM, Bonachea J, Remondo J, Rivas V. 2011. Evidences of major changes in Earth's surface processes. Should the Anthropocene be considered as a new period in geologic history? In: *Geomorphology for Human Adaptation to Changing Tropical Environments (A Asrat, F Dramis, J Nyssen, M Umer, eds)*. Abstract Volume, IAG/AIG Regional Conference, Addis Ababa, Ethiopia.
- CEPAL. CEPALSTAT/Bases de Datos y Publicaciones Estadísticas, División Estadística. www.cepal.org/es.
- Chakrapani G, Subramanian V. 1993. Rates of erosion and sedimentation in the Mahanadi river basin, India. *Journal of Hydrology*. 149, 39-48.
- Chang SH, Chiang KT. 2011. The potential impact of climate change on typhoon-triggered landslides in Taiwan, 2010–2099. *Geomorphology* 133, 143–151.
- Chang JC, Slaymaker O. 2002. Frequency and spatial distribution of landslides in a mountainous drainage basin: Western Foothills, Taiwan. *Catena*; 46: 285–307.
- Chen C, Zhao L, Zhu C, Wang J, Jiang J, Yang S. 2014. Response of diatom community in Lugu Lake (Yunnan–Guizhou Plateau, China) to climate change over the past century. *J Paleolimnol*. 51, 357-373.
- Chen F, Huang X, Zhang J, Holmes J, Chen J. 2006. Humid Little Ice Age in arid central Asia documented by Bosten Lake, Xinjiang, China. *Science in China Series D: Earth Sciences*. 49, 12, 1280-1290.
- Chen Z, Saito Y, Kanai Y, Wei T, Li L, Yao H, Wang Z. Low concentration of heavy metals in the Yangtze estuarine sediments, China: a diluting setting. 2004. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 60, 91-100.

- Chenhali B, Yassini I, Depers A, Caitcheon G, Jones B, Batley G, Ohmsen G. 1995. Anthropogenic marker evidence for accelerated sedimentation in Lake Illawarra, New South Wales, Australia. *Environmental Geology*. 26, 124-135.
- Chillrud S, Hemming S, Shuster E, Simpson H, Bopp R, Ross J, Pederson D, Chaky D, Tolley L, Estabrooks F. 2003. Stable lead isotopes, contaminant metals and radionuclides in upper Hudson River sediment cores: implications for improved time stratigraphy and transport processes. *Chemical Geology*. 199, 53– 70.
- Chin A. 2006. Urban transformation of river landscapes in a global context. *Geomorphology*; 79: 460–487.
- Choudhary P, Routh J, Chakrapani G, Kumar B. 2009. Biogeochemical records of paleoenvironmental changes in Nainital Lake, Kumaun Himalayas, India. *J Paleolimnol*. 42, 571-586.
- Choudhary P, Routh J, Chakrapani G. 2013. A 100-year record of changes in organic matter characteristics and productivity in Lake Bhimtal in the Kumaon Himalaya, NW India. *J Paleolimnol*. 49, 129-143.
- Choudhary P, Routh J, Chakrapani G. 2013. A 100-year record of changes in organic matter characteristics and productivity in Lake Bhimtal in the Kumaon Himalaya, NW India. *Journal of Paleolimnology*, (49), 2, 129-143.
- Choudhary P, Routh J. 2010. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in Kumaun Himalayan Lakes, northwest India. *Organic Geochemistry*. 41, 891-894.
- Chu G, Liu J, Schettler G, Li J, Sun Q, Gu Z, Lu H, Liu Q, Liu T. 2005. Sediment fluxes and varve formation in Sihailongwan, a maar lake from northeastern China. *Journal of Paleolimnology*. 34, 311-324.
- Cisternas M, Araneda A, Martínez P, Pérez S. 2001. Effects of historical land use on sediment yield from a lacustrine watershed in central Chile. *Earth Surface Processes and Landforms*; 26: 63-76.
- Ciszewski, D, Czajka, A. 2015. Human – induced sedimentation patterns of a channelized lowland river. *Earth Surface Processes and Landforms*. 40, 783-795.
- Ciszewski, D, Czajka, A, Blazej, S. 2008. Rapid migration of heavy metals and ¹³⁷Cs in alluvial sediments, Upper Odra River valley, Poland. *Environ Geol*. 55, 1577-1586.
- Clarke ML, Rendell HM. 2006. Hindcasting extreme events: the occurrence and expression of damaging floods and landslides in southern Italy. *Land Degrad Dev*; 17: 365–380.
- Collins AL, Walling DE, Leeks GJL. 1997. Use of the geochemical record preserved in floodplain deposits to reconstruct recent changes in river basin sediment sources. *Geomorphology*; 19: 151-167.
- Collischonn W. Simulação hidrológica em grandes bacias. 2001. Tese de doutorado, Instituto de Pesquisas Hidrológicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 194 pp.
- Colman S, Bradbury J, McGeehin J, Holmes C, Edginton D, Sarna-Wojcicki A. 2004. Chronology of sediment deposition in Upper Klamath Lake, Oregon. *Journal of Paleolimnology*. 31, 139–149.

- Colman S, Bradbury J, Rosenbaum J. 2004. Paleolimnology and paleoclimate studies in Upper Klamath Lake, Oregon. *Journal of Paleolimnology*. 31, 129–138.
- Commonwealth of Australia, 2001. Australia: State of the Environment 2001. CSIRO, Canberra, Australia.
- Commonwealth of Australia, 2004; Australia's River Basins 1997. For up to date information on Australia's River Basins 1997. Disponible en <http://www.ga.gov.au>
- Commonwealth of Australia, 2015; Metadata for Digital Boundary Files. Australian Statistical Geography Standard (ASGS). Disponible en <http://www.ga.gov.au>
- Corbett D, McKee B, Allison M. 2006. Nature of decadal-scale sediment accumulation on the western shelf of the Mississippi River delta. *Continental Shelf Research*. 26, 2125–2140.
- Corominas J, Moya J. 1999. Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat basin, Eastern Pyrenees, Spain. *Geomorphology*; 30: 79-93.
- Coronel G, Menéndez A. 2006. Fisiografía e hidrología de la Cuenca del Plata. In: El cambio climático en la cuenca del Plata, Barros V, Clarke R, Silva-Díaz P, eds. Report of project SGP II 057: «Trends in the hydrological cycle of the Plata basin: Raising awareness and new tools for water management». CONICET, Buenos Aires: 49-64.
- Costa JE. 1975. Effects of agriculture on erosion and sedimentation in the Piedmont Province, Maryland. *Geological Society of America Bulletin*; 86: 1281-1286.
- Craghan M. 2004. The study of human action in the physical environment. *Physical Geography*; 25 (3): 251-268.
- Crosta GB, Frattini P. 2003. Distributed modelling of shallow landslides triggered by intense rainfall. *Nat Hazards Earth Syst Sci*; 3(1–2): 81–93.
- Crozier MJ. 2005. Multiple-occurrence regional landslide events in New Zealand: hazard management issues. *Landslides*; 2: 247–256.
- Crozier MJ. 2010. Deciphering the effect of climate change on landslide activity: a review. *Geomorphology*; 124(3–4): 260–267.
- Crutzen PJ. 2002. Geology of mankind: the Anthropocene. *Nature*; 415: 23.
- Cundy AB, Croudace IW, Cearreta A, Irabien MJ. 2003. Reconstructing historical pollution trends in heavily-modified, contaminated estuaries: studies from Bilbao, Southampton Water, Sicily and the Westerschelde. *Appl Geochem*; 18(2): 311–25.
- Cunha SB. 1998. O custo ambiental da hidrovía Paraguai-Paraná. *Ciência Hoje*; 23 (135): 74-135.
- Dai FC, Lee CF. 2002. Landslide characteristics and slope instability modelling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*; 42: 213–228.
- Dandekar P. 2014. Shrinking and Sinking Deltas. South Asia Network on Dams Rivers and People. May 2014, 1-15. Disponible en <http://sandrp.wordpress.com>.

- Dangavs NV. 1979. Presencia de dunas de arcilla fósiles en la Pampa Deprimida. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*; 34 (1): 31-35.
- Dangavs NV. 2005. Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. En: *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata. Capítulo XIII.
- Dangavs NV. 2008. Los paleoambientes cuaternarios del arroyo la Horqueta, Chascomús, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*; 64 (2): 249–262.
- Dangavs, NV. 2009a. Los paleoambientes cuaternarios del arroyo La Horqueta, Chascomús, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64 (2): 249-262.
- Dangavs NV. 2009b. Paleolimnología de las lagunas periódicas (secas) Esquivel, del Medio y El Espartillar, Chascomús, Buenos Aires. IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Cuaternario y II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, Actas CD: 290-299.
- Dangavs NV. 2009c. Estratigrafía pleistocena tardía-holocena y paleolimnología de la laguna Chis Chis, Chascomús, Buenos Aires, Argentina. IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Cuaternario y II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, Actas CD: 300-309.
- Dangavs NV. 2010. Geología ambiental de la laguna de las Perdices, Monte, Buenos Aires, Argentina. *Asociación de Universidades Grupo Montevideo, AUGMDOMUS*; 1: 67-104.
- Dangvas NV, Blasi AM. 1994. Quaternary ontogeny of a pampean “laguna”. Sedimentological and biological characteristics of Lobos Lake sediments, Argentina. *Journal of Paleomlimnology*; 10 (1): 59-62.
- Dangvas NV, Blasi AM. 2002. Los depósitos de yeso intrasedimentario del arroyo del Siasgo, partidos de Monte y General Paz, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*: 57 (3): 315-327.
- Dangavs NV, Blasi A. 2003. El Miembro Lobos de la Formación Luján: Cambio de rango de la Formación Lobos, unidad estratigráfica del Pleistoceno superior de la cuenca del río Salado de la provincia de Buenos Aires. Segundo Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 67-74. San Miguel de Tucumán.
- Dangavs NV, Merlo D. 1994. Desarrollo endógeno del partido de San Vicente. Estudio geolimnológico de la cuenca del arroyo San Vicente, provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires. Informe Técnico. Tomos 1 y 2.
- Dangvas NV, Merlo D. 1997. Geología Ambiental de la laguna de Quinteros. Partidos de Chascomús y General Paz, provincia de Buenos Aires. En: *Situación Ambiental de la provincia de Buenos Aires; Parte A. Recursos y rasgos naturales en la evaluación ambiental*. Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires. 30: 1-32.

- Dangavs NV, Mormeneo M. 2012. Geolimnología de la laguna Adela, Chascomús, provincia de Buenos Aires. *Revista del Museo de La Plata, Sección Geología*, 13 (116): 1-26.
- Dangavs NV, Pierrard L. 2013. Paleolimnología de la laguna del Monte, San Miguel del Monte, Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*; 70 (1): 128-143.
- Dangavs NV, Reynaldi JM. 2008. Paleolimnología de la laguna Cerrillo del medio, Monte, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*; 63(1), 29–42.
- Dangavs NV, Merlo DO, Mormeneo LM. 2006. Geolimnología de los cuerpos lénticos de la cuenca del arroyo La Vigilancia, Chascomús, Provincia de Buenos Aires. *Revista Museo La Plata, Geología*. 12(115), 1-29.
- Dantas-Ferreira M. 2008. Proposta de índice para processos erosivos acelerados a partir do levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas. Tese de Doutorado. EESC/USP, 2008. 447 pp.
- Davis MB. 1976. Erosion rates and land use history in southern Michigan. *Environmental Conservation*; 3: 139-148.
- Davis R, Anderson D, Dixit S, Appleby P, Schauffler M. 2006. Responses of two New Hampshire (USA) lakes to human impacts in recent centuries. *Journal of Paleolimnology*. 35, 669–697.
- Détriché, S, Rodrigues, S, Macaire, J, Bonté, P, Bréhéret, J, Bakyono, J, Jugé, P. 2010. Caesium – 137 in sandy sediments of the River Loire (France): Assessment of an alluvial island evolving over the last 50 years. *Geomorphology*. 115, 11-22.
- Dillon A, Rabassa J. 1985. Miembro La Chumbiada, Formación Luján (Pleistoceno, provincia de Buenos Aires): Una nueva unidad estratigráfica del valle del río Salado. *Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses, Tandil. Resúmenes*, p 27.
- Diniz GL, Fonseca M, Campelo Jr JH. 2008. Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana. *Biomatemática*; 18: 37-48.
- Doering A. 1884. Estudios hidrognósticos y perforaciones artesianas en la República Argentina. *Boletín Academia Nacional de Ciencias*; 6: 259-340.
- Dong X, Bennion H, Battarbee R, Yang X, Yang H, Liu E. 2008. Tracking eutrophication in Taihu Lake using the diatom record: potential and problems. *J Paleolimnol*. 40, 413-429.
- Dong Y, Wu Y, Zhang T, Yang W, Liu B. 2013. The sediment delivery ratio in a small catchment in the black soil region of Northeast China. *International Journal of Sediment Research*. 28, 111-117.
- Douglas I. 1990. Sediment transfer and siltation. In: Turner BL, Clark WC, Kates RW, Richards JF, Mathews JT, Meyer WB (eds). *The Earth as transformed by human action*, Cambridge University Press, Cambridge: 215-234.
- Douglas I. 1996. The impact of land-use changes, especially logging, shifting cultivation, mining and urbanization on sediment yields in humid tropical Southeast Asia: a review with special reference to Borneo. In: Walling DE, Webb BW, eds. *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional*

- Perspectives, Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996. IAHS Publication, Wallingford, UK: 463–471.
- Douglas I, Lawson N. 2000. The contribution of small-scale and informal mining to disturbance of the earth's surface by mineral extraction. *Mining and Energy Research Network Research Bulletin*; 15: 153-161.
- Douglas I, Lawson N. 2001. Materials flows for mining and quarrying. In: Douglas I, ed. *Causes and consequences of global environmental change (Volume 3 de Munn, T. (ed.) Encyclopedia of Global Environmental Change)* John Wiley, Chichester: 454-461.
- Douglas I, Lawson N. 2002. Material flows due to mining and urbanization. In: Ayres RU, Ayres LW. (eds). *Handbook of Industrial Ecology*, Edward Elgar, Cheltenham: 351-364.
- Douglas I, Lawson N. 2005. The geomorphic and land use impacts of mining. In: Rajaram V, Dutta A, Parameswaran K, eds. *Sustainable mining practices- a global perspective* A.A. Balkema, Leiden, The Netherlands; 60-80.
- Dunne T, Leopold LB. 1978. *Water in Environmental Planning*. Freeman, N. York.
- ECLAC (www.eclac.org)
- Edlund M, Engstrom D, Triplett L, Moraska Lafrancois B, Leavitt P. 2009. Twentieth century eutrophication of the St. Croix River (Minnesota–Wisconsin, USA) reconstructed from the sediments of its natural impoundment. *Journal of Paleolimnology*. 41, 641–657.
- Edlund, M, Ramstack Hobbs J, Williamson, J. 2015. A Paleolimnological Study of Bone Lake, Polk County, Wisconsin. Final Report to Bone Lake Management District. St. Croix Watershed Research Station, Science Museum of Minnesota, Marine on St. Croix, Minnesota. 24pp.
- EEA (European Environment Agency) 2005. The European environment - State and outlook 2005. Accesible in: http://org.eea.eu.int/documents/newsreleases/soer2005_pp-enhttp://org.
- El Banna MM, Frihy OM. 2009. Human-induced changes in the geomorphology of the northeastern coast of the Nile delta, Egypt. *Geomorphology*; 107: 72-78.
- EM-DAT. The OFDA/CRED International Disaster Database www.em-dat.net- Université Catholique de Louvain–Brussels, Belgium.
- Engstrom D, Almendinger J, Wolin J. 2009. Historical changes in sediment and phosphorus loading to the upper Mississippi River: mass-balance reconstructions from the sediments of Lake Pepin. *Journal of Paleolimnology*. 41, 563–588.
- Ericson JP, Vörösmarty CJ, Dingman SL, Ward LG, Meybeck M. 2005. Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications. *Global and Planetary Change*; 50: 63-82.
- Eriksson MG, Sandgreen P. 1999. Mineral magnetic analyses of sediment cores recording recent soil erosion history in central Tanzania. *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*; 152: 365-384.
- Fan D, Qi H, Sun X, Liu Y, Yang Z. 2010. Annual lamination and its sedimentary implications in the Yangtze River delta inferred from High-

- resolution biogenic silica and sensitive grain-size records. *Continental Shelf Research*. 31, (2): 129-137.
- Fan JC, Yang CH, Chang SC, Huang HY, Guo JJ. 2013. Effects of climate change on the potential of the landslides in the basin of Kaoping stream. *Journal of China in Soil Water Conservation*, 44 (4): 335–350.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistical Databases. <http://apps.fao.org>.
- Fidalgo F, Martínez OR. 1983. Algunas características geomorfológicas dentro del partido de La Plata, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*; 38(2): 263-279.
- Fidalgo F, Colado UR, De Francesco FO. 1975. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena, provincia de Buenos Aires. *Relatorio V Congreso Geológico Argentino*. II: 227-240.
- Fidalgo F, De Francesco F, Colado U. 1973. Geología superficial en las hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio, provincia de Buenos Aires. *Actas 5º Congreso Geológico Argentino*; 4: 27- 39.
- Fidalgo F, Riggi JC, Correa H, Porro N. 1991. Los sedimentos postpampeanos continentales en el ámbito sur bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*; 46 (3-4): 239-256.
- Finney LE, Edwards SC. 2016. The “Anthropocene” epoch: Scientific decision or political statement? *GSA Today* 26(3–4): 4-10.
- Fiorio PR, Dematte JAM, Sparovek G. 2000. Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba, SP. *Pesqui Agropecuaria Bras*; 35: 671–9.
- Fluin J, Gell P, Haynes D, Tibby J, Hancock G. 2007. Palaeolimnological evidence for the independent evolution of neighbouring terminal lakes, the Murray Darling Basin, Australia. *Hydrobiologia*. 591, 117–134.
- Fluin J, Haynes D, Tibby J. 2009. An environmental history of the lower lakes and the coorong. Report (environment.sa.gov.au).
- Fluin J, Tibby J, Gell P. 2010. The palaeolimnological record from lake Cullulleraine, lower Murray River (south-east Australia): implications for understanding riverine histories. *J Paleolimnol*. 43, 309–322.
- Ford J. 2004. Preliminary studies of the recent paleolimnology of Lake of the Woods, Oregon. U.S.D.A. Fremont-Winema National Forest Klamath Falls, Oregon. 27pp.
- Forte LM. 2011. Análisis de las tendencias de variación en las tasas de actividad de los procesos geomorfológicos y de sus implicaciones para los riesgos naturales. MS Thesis. Universidad de Cantabria, Santander, Spain.
- Forte LM, Hurtado MA, Giménez JE, Cabral MG, Crincoli AC. 2004. Consecuencias ambientales del desarrollo urbano y análisis de áreas fuente alternativas para la industria del ladrillo. Estudio de caso en el partido de La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina. En: *Actas IV Congreso Uruguayo de Geología y II Reunión de Geología Ambiental y Ordenamiento del Territorio*. Torre de los Profesionales, Montevideo, Uruguay; CD.
- Forte LM, Cavallotto JL, Hurtado MA, Muntz D, Etcheverry R, Cendrero A. 2008. Las ciudades como escenario del cambio geomorfológico global; comparación

- de la evolución histórica del Gran Buenos Aires y el delta subaéreo del Paraná. Actas XVII Congreso Geológico Argentino, Jujuy: 467-468.
- Forte LM, Hurtado MA, Bruschi VM, Bonachea J, Remondo J, Gómez-Arozamena J, Silva M da, Cavallotto JL, Dantas-Ferreira M, Pejon OJ, Zuquette LV, Cendrero A. 2015. Is there a great geomorphic acceleration and related intensification of natural hazards that marks the start of the Anthropocene? En: Ecodiversidade e sua sustentabilidade no Quaternário. Anais da ABEQUA. Brasil: 391-392.
- Forte LM, Hurtado MA, Dangvas NV, Couyoupetrou L, Giménez JE, Silva M da, Bruschi VM, Cendrero A. 2016. Anthropogenic geomorphic change as a potential generator of renewable geologic resources in the humid Pampa, Argentina. Catena; 142: 177–189.
- Foster, I, Lees, J. 1999. Changing headwater suspended sediment yields in the LOIS catchments over the last century: a paleolimnological approach. Hydrological Processes. 13, 1137-1153.
- Foster, I, Lees, J. 1999. Changes in the physical and geochemical properties of suspended sediment delivered to the headwaters of LOIS river basins over the last 100 years: a preliminary analysis of lake and reservoir bottom sediments. Hydrological Processes. 13, 1067-1086.
- Foster, I, Lees, J, Owens, P, Walling, D. 1998. Mineral magnetic characterization of sediment sources from an analysis of lake and floodplain sediments in the catchments of the old mill reservoir and Slapton ley, South Devon, UK. Earth Surface Processes and Landforms. 23, 685-703.
- Foster, I, Walling, D. 1994. Using reservoir deposits to reconstruct changing sediment yields and sources in the catchment of the Old Mill Reservoir, South Devon, UK, over the past 50 years. Hydrological Sciences – Journal – des Sciences Hydrologiques. 39, 347-368.
- Frank F, Viglizzo E. 2010. Evaluación ecológica: ejemplo de estudio en las pampas de Argentina. En: Forum de Sostenibilidad, Revista de la Cátedra Unesco sobre Desarrollo Sostenible; 4: 72-89
- Frenguelli J. 1950. Rasgos Generales de la Morfología y la Geología de la Provincia de Buenos Aires, Revista Lemit, Serie II, pp 33, La Plata, Argentina.
- Frenguelli J. 1957. Neozoico. En: Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA) 2, Geografía de la República Argentina. Buenos Aires: 1-113.
- FrePlata, 2012. Calidad ambiental de las Cuencas de los Arroyos del Gato y Pereyra Provincia de Buenos Aires, Argentina. United Nations Development Program (PNUD), Proyect ARG/09 G46. Final Report. (<http://www.ambiente.gob.ar>).
- Friedman J, Vincent K, Shafroth P. 2005. Dating floodplain sediments using tree-ring response to burial. Earth Surface Processes and Landforms. 30, 1077-1091.
- Fuller IC. 2008. Geomorphic impacts of a 100-year Flood: Kiwitea Stream, Manawatu catchment, New Zealand. Geomorphology; 98: 84-95.

- Fuller C, van Geen A, Baskaran M, Anima R. 1999. Sediment chronology in San Francisco Bay, California, defined by ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{137}Cs , and $^{239,240}\text{Pu}$. *Marine Chemistry*. 64, 7–27.
- Galve JP, Gutiérrez F, Lucha P, Guerrero J, Bonachea J, Remondo J, Cendrero A. 2009. Probabilistic sinkhole modelling for hazard assessment. *Earth Surf. Process Landforms*; 34: 437–452.
- Gamage N, Smakhtin V. 2009. Do river deltas in east India retreat? A case of the Krishna Delta. *Geomorphology*; 103: 533–540.
- Gámez D, Vázquez-Suñé E, Simó JA, Salvany JM, Carrera J. 2005. Variación de las tasas de sedimentación en el Complejo Detrítico Superior del Delta del Llobregat (Barcelona): su relación con causas eustáticas, climáticas y antrópicas. *Geogaceta*, 38:175–8.
- Galdino S, Clake RT, Padovani CR, Soriano BMA, Vieira LM. 1997. Evolução do regime hidrológico na planície do baixo curso do rio Taquari-Pantanal. In: *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES: 383–390.
- García-Ruiz JM, Beguería S, Alatorre LC, Constante A, Puigdefábregas J. 2010. Land cover changes, shallow landsliding in the Flysch sector of the Spanish Pyrenees. *Geomorphology* 124: 250–259.
- Gao C, Lin Q, Zhang S, He J, Lu X, Wang G. 2014. Historical trends of atmospheric black carbon on Sanjiang Plain as reconstructed from a 150-year peat record. *Scientific Reports*. 4:5723. 7p.
- Guo X, Potito A, Luo L, Beilman D. 2013. Twentieth century human and climate impacts on a large mountain lake in southwest China. *Hydrobiologia*. 718, 189–206.
- Gariano SL, Guzzetti F. 2016. Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227–252.
- Gariano SL, Petrucci O, Guzzetti F. 2015. Changes in the occurrence of rainfall induced landslides in Calabria, southern Italy, in the 20th century. *Natural Hazards & Earth System Science*, 15, 2313–2330.
- Garrison P. 2011. Paleoeological study of Honest John Lake, Ashland County. Wisconsin Department of Natural Resources, Bureau of Science Services. PUB-SS-1085. 14pp.
- Gasiorowski, M. 2008. Deposition rate of lake sediments under different alternative stable states. *Geochronometria*. 32, 29–35.
- Gaviño-Novillo M. 2007. Bermejo River Basin Case Study. UNESCO-IHP, (ISI – LAC). Document prepared by ISI LAC, 1° Fieldtrip – ISI Scientific Advisory Committee (SAC), Buenos Aires. In <http://www.irtces.org/isi/isi>
- Gil-Montero R. 2004. Población, medio ambiente y economía en la Puna de Jujuy, Argentina, siglo XIX-XX. *Revista de Demografía Histórica*; XXII-I: 185–208.
- Gelen A, Soto J, Gómez J, Díaz O. 2004. Sediment dating of Santander Bay, Spain. *J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry*; 261: 437–441.
- Gell P, Fluin J, Tibby J, Hancock G, Harrison J, Zawadzki A, Haynes D, Khanum S, Little F, Walsh B. 2009. Anthropogenic acceleration of sediment accretion in lowland floodplain wetlands, Murray–Darling Basin, Australia. *Geomorphology*. 108, 122–126.

- Gell P, Fluin J, Tibby J, Haynes D, Ifteara Khanum S, Walsh B, Hancock G, Harrison J, Zawadzki A, Little F. 2006. Changing fluxes of sediments and salts as recorded in lower River Murray wetlands, Australia. *Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems* (Proceedings of a symposium held in Dundee, UK, July 2006). IAHS Publ. 306, 2006.
- Gell P, Little F. 2007. Water quality history of Murrumbidgee River floodplain wetlands. Land & Water Australia. Final Report. 40p.
- Gell P, Reid M. 2014. Assessing change in floodplain wetland condition in the Murray Darling Basin, Australia. *Anthropocene*. 8, 39-45.
- Gell P, Tibby J, Fluin J, Leahy P, Reid M, Adamson K, Bulpin B, MacGregor A, Wallbrink P, Hancock D, Walsh B. 2005. Accessing limnological change and variability using fossil diatom assemblages, south-east Australia. *River Research and Applications*. 21, 257-269.
- Gell P, Tibby J, Little F, Baldwin D, Hancock G. 2007. The impact of regulation and salinisation on floodplain lakes: the lower River Murray, Australia. *Hydrobiologia*. 591, 135–146.
- Gellis AC, Ellevein A, Aby S, Pavich MJ, Bierman PR, Clapp EM. 2004. Modern sediment yield compared to geologic rates of sediment production in a semi-arid basin; New Mexico: Assessing the human impact. *Earth Surface Processes and Landforms*; 28 (11): 1359-1372.
- Glade T. 1998. Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand. *Environ Geol*; 35(2–3):160–174.
- Glade T. 2003. [Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand](#). *Catena*; 51 (1): 97-314.
- Godoy JM, Padovani CR, Guimarães JRD, Pereira JCA, Vieira LM, Carvalho ZL. 2002. Evaluation of the siltation of River Taquari, Pantanal, Brazil, through 210Pb geochronology of floodplain lake sediments. *J Braz Chem Soc*. 13(1):71–7.
- González-Díez A, Salas L, Díaz de Terán JR, Cendrero A. 1996. Holocene climate changes and landslide occurrence in the Cantabrian Region, Spain. *Geomorphology* 15, 291-309.
- González-Díez A, Remondo J, Díaz de Terán JR, Cendrero A. 1999. A methodological approach for the analysis of the temporal occurrence and triggering factors of landslides. *Geomorphology*; 30: 95-113.
- Goudie A. 1984. *The nature of environment: an advanced Physical Geography*. Blackwell, Oxford.
- Goudie A. 1993. Human influence in geomorphology. *Geomorphology*; 7: 37-59.
- Goudie A. 1995. *The Changing Earth. Rates of geomorphological processes*. Blackwell, Oxford.
- GPCC 2011. Global Precipitation Climate Centre, Full Data Reanalysis. <http://www.dwd.de/bvbw/>
- Graf W. 2006. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*; 79: 336–360
- Graney J, Eriksen T. 2004. Metals in pond sediments as archives of anthropogenic activities: a study in response to health concerns. *Applied Geochemistry*. 19, 1177–1188.

- Grau A, Brown AD. 2000. Development Threats to Biodiversity and Opportunities for Conservation in the Mountain Ranges of the Upper Bermejo River Basin, NW Argentina and SW Bolivia. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*; 29: 445–450.
- Gray J, Fey D, Holmes C, Lasorsa B. 2005. Historical deposition and fluxes of mercury in Narraguinnep Reservoir, southwestern Colorado, USA. *Applied Geochemistry*. 20, 207–220.
- GRDC. 2011. Global Runoff Data Centre. 20110519_EWA_Stations; 20110519_GRDC_Stations. <http://www.gewex.org/grdc.html>
- Grundell R, Gell P, Mills K, Zawadzki A. 2012. Interaction between a river and its wetland: evidence from the Murray River for spatial variability in diatom and radioisotope records. *J Paleolimnol*. 47, 205-219.
- Gunnell Y. 1998. Present, past and potential denudation rates: is there a link? Tentative evidence from fission-track data, river sediment loads and terrain analysis in the South Indian shield. *Geomorphology*; 25: 135-153.
- Gunten, H, Sturm, M, Moser, R. 1997. 200 – Year Record of Metals in Lake Sediments and Natural Background Concentrations. *Environmental science and technology*. 31, 2193-2197.
- Guo X, Potito A, Luo L, Beilman D. 2013. Twentieth century human and climate impacts on a large mountain lake in southwest China. *Hydrobiologia*. 718, 189-206.
- Guo Y, Yang S. 2016. Heavy metal enrichments in the Changjiang (Yangtze River) catchment and on the inner shelf of the East China Sea over the last 150 years. *Science of the Total Environment*. 543, 105-115.
- Gupta H, Kao S, Dai M. 2012. The role of mega dams in reducing sediment fluxes: A case study of large Asian rivers. *Journal of Hydrology*, 464: 447-458.
- Gutiérrez F, Galve JP, Guerrero J, Lucha P, Cendrero A, Remondo J, Bonachea J, Gutiérrez M, Sánchez JA. 2007. The origin, typology, spatial distribution and detrimental effects of the sinkholes developed in the alluvial evaporite karst of the Ebro River valley downstream of Zaragoza city (NE Spain). *Earth Surf. Process. Landforms*; 32: 912–928.
- 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.
- Haigh MJ, Rawat JS, Rawat MS, Bartarya SK, Rai SP. 1995. Interactions between forest and landslide activity along new highways in the Kumaun Himalaya. *For Ecol Manage*; 78(1–3):173–189.
- Halcrow SW. 1994. Estudio de Regulación del Valle Aluvial de los ríos Paraná y Uruguay para el Control de las Inundaciones. Anexo B: Hidrología. Convenio S.W. Halcrow–Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina. Informe Técnico.
- Hancock G, Olley J, Wallbrink P. 2001. Sediment transport and accumulation in Western Port. CSIRO Land and Water, Technical Report 47/01. 54p.

- Hancock G, Pietsch T. 2006. Sedimentation in the Gippsland Lakes as determined from sediment cores. CSIRO Land and Water, Science Report 40/06. 38p.
- Hancock G. 2001. Sediment accumulation in central Moreton Bay as determined from sediment core profiles. CSIRO Land and Water. Report on Project SS Phase 3 - Part A. 25p.
- Hany FE. 2005. Corumbá, Pantanal de Mato Grosso do Sul: periferia ou espaço central? Rio de Janeiro, Programa de Mestrado em Estudos populacionais e Pesquisas Sociais, Escola Nacional de Ciências Estatísticas – ENCE, IBGE. Reporte Técnico.
- Harbor J. 1999. Engineering geomorphology at the cutting edge of land disturbance: erosion and sediment control on construction sites. *Geomorphology*; 31: 247-263.
- Harvey AM. 2001. Coupling between hillslopes and channels in upland fluvial systems: implications for landscape sensitivity, illustrated from the Howgill Fells, northwest England. *Catena*; 42: 225-250.
- Herget J, Meurs H. 2010. Reconstructing peak discharges for historic flood in city of Cologne, Germany. *Global and Planetary Change*; 70: 108-116.
- Historical Statistics for the World Economy. 2011. Groningen Growth and Development Centre, University of Groningen. <http://www.ggdc.net/>.
- Hobo, N, Makaske, B, Middelkoop, H, Wallinga, J. 2010. Reconstruction of floodplain sedimentation rates: a combination of methods to optimize estimates. *Earth Surface Processes and Landforms*. 35, 1499-1515.
- Holliday, V, Warburton, J, Higgitt, D. 2008. Historic and contemporary sediment transfer in an upland Pennine catchment, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*. 33, 2139-2155.
- Hollins S, Harrison J, Jones B, Zawadzki A, Heijnis H, Hankin S. 2011. Reconstructing recent sedimentation in two urbanized coastal lagoons (NSW, Australia) using radioisotopes and geochemistry. *J Paleolimnol*. 46, 579-596.
- Hooke RL. 1994. On the efficacy of humans as geomorphic agents. *GSA Today*; 4 (9): 224-225.
- Hooke RL. 1999. Spatial distribution of human geomorphic activity in the United States: comparison with rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*; 24: 687-692.
- Hu G, Bi S, Xu G, Zhang Y, Mei X, Li A. 2015. Distribution and assessment of heavy metals off the Changjiang River mouth and adjacent area during the past century and the relationship of the heavy metals with anthropogenic activity. *Marine Pollution Bulletin*. 96, 434-440.
- Huang, C, O'Connell, M. 2000. Recent land – use and soil – erosion history within a small catchment in Connemara, western Ireland: evidence from lake sediments and documentary sources. *Catena*. 41, 293-335.
- Hughes A, Croke J, Pietsch T, Olley J. 2010. Changes in the rates of floodplain and in-channel bench accretion in response to catchment disturbance, central Queensland, Australia. *Geomorphology*. 114, 338-347.
- Hughes A, Olley J, Croke J, Webster I. 2009. Determining floodplain sedimentation rates using ^{137}Cs in a low fallout environment dominated by

- channel- and cultivation-derived sediment inputs, central Queensland, Australia. *Journal of Environmental Radioactivity*. 100, 858-865.
- Huh CA, Chen HY. 1999. History of lead pollution recorded in East China sediments. *Marine Pollution Bulletin*; 38 (7): 545-549.
- Huh C, Venkatesan M. 1998. Historical contamination in the southern California Bight. NOAA Technical memorandum NOS ORCA 129. National Oceanic and Atmospheric Administration. 197pp.
- Humane SS, Humane SK, Juare S. 2016. ^{210}Pb dating and trace metal accumulation study of sediment cores from Navegaon Bandh and Bodhalkasa Lakes, Gondia District, Maharashtra, India. *Environ Earth Sci*. 75:602.
- Hupp C, Bazemore D. 1993. Temporal and spatial patterns of wetland sedimentation, West Tennessee. *Journal of Hydrology*. 141, 179-196.
- Hurtado MA. 2015. Desarrollo de herramientas para el análisis, evaluación y gestión sostenible del territorio y de sus recursos. Aplicación en el Conurbano Bonaerense, provincia de Buenos Aires, Argentina. Tesis de Doctorado, Universidad de Cantabria, Santander.
- Hurtado MA, Giménez J, Cabral M. 2006b. Estudio Ambiental del Partido de La Plata; Aportes al Ordenamiento Territorial. Consejo Federal de Inversiones, Municipalidad de La Plata. La Plata.
- Hurtado MA, Forte LM, Muntz D. 2008. Pérdida de suelos por actividades urbanas directas e indirectas. En: *Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Semiárido: Un desafío para la Ciencia del Suelo*. Potrero de Funes, San Luis, Argentina. CD.
- Hurtado MA, Forte LM, Bruschi V, Bonachea J, Rivas V, Gómez-Arozamena J, Dantas-Ferreira M, Remondo J, González A, Díaz de Terán JR, Salas L, Cendrero A. 2012. The geomorphic dimension of global change; risks and opportunities. En: *Avances de la Geomorfología en España* González A, ed). SEG, Madrid: 18-23.
- Hurtado MA, Forte LM, da Silva M, Muntz D, Cendrero A. 2015. Degradación de suelos como consecuencia de la actividad minera y la expansión urbana en la provincia de Buenos Aires; implicaciones. En: *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina* (R.R. Casas y G.F. Albarracín, eds.), Tomo 2. FECIC-Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Buenos Aires. ISBN 978-950-9149-40-3, pp. 377-411.
- Hyatt J, Gilbert R. 2000. Lacustrine sedimentary record of human-induced gully erosion and land-use change at Providence Canyon, southwest Georgia, USA. *Journal of Paleolimnology*. 23, 421-438.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) <http://www.ibge.gov.br>.
- Inchausti JA. 2003. Evolución económica de las regiones y provincias españolas en el Siglo XX. Fundación BBVA, Bilbao.
- IPCC Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press Cambridge.
- IPCC. 2007. Fourth Assesment Report. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor,

- S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Irabien MJ, Cearreta A, Leorri E, 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, Rada M, Gómez J, Soto J, Mañanes A, 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.
- Irabien MJ, Velasco F. 1999. Heavy metals in Oka river sediments (Urdaibai National Reserve, northern Spain): lithogenic and anthropogenic effects. *Environmental Geology* 37, 54-63.
- Iriondo M. 1996. Estratigrafía del Cuaternario de la cuenca del Uruguay. XIII Congreso Geológico Argentino. Actas IV, Buenos Aires: 15–25.
- Iriondo, M., 1999. Climatic changes in the South American plains: Record of a continental-scale oscillation. *Quaternary International*; 57/58: 93-122.
- Iriondo M. 2000. Características geológicas y geomorfológicas. En: Tomo I, Schreider M, Paoli Cy, eds. *El río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura*. Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Litoral: 987-508.
- Iriondo M. 2005. El Complejo Litoral en la desembocadura del río Paraná. En: de Barrio, Etcheverry, Caballé, Llambías, eds. *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino: "Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires"* (cap. XV), La Plata: 255-264.
- Iriondo M. 2010. Geología del cuaternario en la Argentina. Grupo de Estudios del Cuaternario, Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino, Santa Fe.
- Iriondo M, García N. 1993. Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*; 101: 209-220.
- Iriondo M, Kröhling D. 1995. El sistema eólico pampeano. *Comunicaciones Museo Provincial de Ciencias Naturales*; 5(1): 1-68.
- Isquierdo SW. 1997. Análise integrada da sub-bacia da lagoa Negra - MS: um ensaio de cartografia temática com aplicação do SIG. Dissertação (Mestrado em Geografia Física)- Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Izquierdo AE, Grau HR. 2009. Agriculture adjustment, land-use transition and protected areas in Northwestern Argentina. *Journal of Environmental Management*; 90: 858-865.
- Jaeger J, Mehta A, Faas R, Grella M. 2009. Anthropogenic Impacts on Sedimentary Sources and Processes in a Small Urbanized Subtropical Estuary, Florida. *Journal of Coastal Research*. 25, 1, 30-37.
- Jain V, Sinha R, Singh LP, Tandon SK. 2016. River Systems in India: The Anthropocene Context. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 82, (83): 747-761.

- Jayaprakash M, Gopal V, Giridharan L, Velmurugan P, Allapatt L, Frechen M. 2015. Use of ^{210}Pb dating to identify recent sedimentation in Muthupet lagoon, Palk Strait, south east coast of India. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 10, 4, 113-119.
- Jennings JN, Mabbutt JA. 1986. Physiographic outlines and regimes. In: *Australia – A Geography*, vol. 1. The Natural Environment (ed. DN Jeans), 80–96. Sydney University Press, New South Wales, Australia.
- Jinglu W, Gagan M, Xuezhong J, Weilan X, Sumin W. 2004. Sedimentary geochemical evidence for recent eutrophication of Lake Chenghai, Yunnan, China. *Journal of Paleolimnology*. 32, 85-94.
- Judson, S. 1983. Erosion of the land; what's happening to our continents? In: Tank, R.W., (ed), *Environmental geology*. Oxford Univ. Press, New York: 184–197.
- Kadlec R, Robbins J. 1984. Sedimentation and sediment accretion in Michigan Coastal Wetlands (U.S.A.). *Chemical Geology*. 44, 119-150.
- Kamenik, C, Koinig, K, Schmidt, R, Appleby, P, Dearing, J, Lami, A, Thompson, R, Psenner, R. 2000. Eight hundred years of environmental changes in a high Alpine lake (Gossenköllesee, Tyrol) inferred from sediment records. *Paleolimnology and ecosystem dynamics at remote European Alpine lakes*. 59, 43-2
- Kasai M, Brierly GJ, Page MJ, Marutani T, Trustrum NA. 2005. Impacts of land use change on patterns of sediment flux in Weraamaia catchment, New Zealand. *Catena*; 64 (1): 27-60.
- Keesstra SD, van Huissteden J, Vandenbergh J, Van Dam O, de Gier J, Pleizier ID. 2005. Evolution of the morphology of the river Dragonja (SW Slovenia) due to land-use changes. *Geomorphology*; 69: 191-207.
- Kerfoot W, Lauster G. 1994. Paleolimnological study of copper mining around Lake Superior: Artificial varves from Portage Lake provide a high resolution record. *Limnology and Oceanography*. 39, 3, 649-669.
- Kerfoot W, Robbins J. 1999. Nearshore Regions of Lake Superior: Multi-element Signatures of Mining Discharges and a Test of Pb-210 Deposition under Conditions of Variable Sediment Mass Flux. *Journal of Great Lakes Research*. 25, 4, 697-720.
- Kesel RH, Yodis EG, McCraw DJ. 1992. An approximation of the sediment budget of the lower Mississippi River prior to major human modification. *Earth Surface Processes and Landforms*; 17: 711–722.
- Khan H, Brush G, 1994. Nutrient and Metal Accumulation in a Freshwater Tidal Marsh. *Estuaries*. 17, 2, 345-360.
- Knox J. 2001. Agricultural influence on landscape sensitivity in the Upper Mississippi River Valley. *Catena*; 42 (2-4): 193-224.
- Knox, J.C., 2006. Floodplain sedimentation in the Upper Mississippi Valley: Natural versus human accelerated. doi:10.1016/j.geomorph.2006.06.031
- Koide M, Bruland K, Goldberg ED. 1973. Th-238/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments. *Geochimica & Cosmochimica Acta*; 37: 1171-1187.

- Kolbert E. 2011. Con ustedes el Antropoceno. La era del hombre. National Geographic; Marzo 2011: 24-47.
- Korup O, Clague JJ, Hermanns RL, Hewitt K, Strom AL, Weidinger JT. 2007. Giant landslides, topography, and erosion. Earth Planet Sci Lett; 261: 578–589.
- Kotarba A, Lokas E, Wachniew P. 2002. Pb-210 dating of young Holocene sediments in highmountain lakes of the Tatra Mountains. Geochronometria; 21:73–8.
- Kraemer F, Chagas C, Marré G, Palacín E, Santanatoglia O. 2013. Cattle production displacement by annual cropping in a basin belonging to the rolling pampa region. Effects on runoff and soil erosion. Ciencia del suelo; 31(1): 83-92.
- Krepper CM, García NO. 2004. Spatial and temporal structures of trends and interannual variability of precipitations over the La Plata Basin. Quaternary International; 114: 11-21.
- Kumar B, Rai S, Nachiappan RmP, Saravana Kumar U, Singh S, Diwedi V. 2007. Sedimentation rate in North Indian lakes using ^{137}Cs and ^{210}Pb dating techniques. Current Science. 92, 10, 1416-1420.
- Lal R. 1997. Degradation and resilience of soils. Philosophical Transactions of the Royal Society; 352: 997-1010.
- Lambin EF, Geist HJ, eds. 2006. Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts, Springer-Verlag, Berlin.
- Lan J, Xu H, Liu B, Sheng E, Zhao J, Yu K. 2015. A large carbon pool in lake sediments over the arid/semiarid region, NW China. Chin. J. Geochem. 34, 3, 289-298.
- Lang A. 2003. Phases of soil erosion-derived colluviation in the loess hills of south Germany. Catena; 51: 209-221.
- Latrubesse E, Brea, D. 2009. Floods in Argentina. In: Developments in Earth Surface processes. “Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America”; 13: 333-349.
- Latrubesse EM, Amsler ML, de Morais RP, Aquino S. 2009. The geomorphological response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American Tropics: The case of the Araguaia River. Geomorphology; 113: 239-252.
- Latrubesse EM, Stevaux JC, Sinha R. 2005. Tropical rivers. Geomorphology; 70 (3-4); 187-206.
- Leahy P, Tibby J, Kershaw P, Heijnis H, Kershaw J. 2005. The impact of european settlement on bolin billabong, a Yarra River floodplain lake, Melbourne, Australia. River Research and Applications. 21, 131-149.
- Lecce S, Pavlowsky R. 2001. Use of mining-contaminated sediment tracers to investigate the timing and rates of historical flood plain sedimentation. Geomorphology. 38, 85–108.
- Leithold E, Perkey D, Blair N, Creamer T. 2005. Sedimentation and carbon burial on the northern California continental shelf: the signatures of land-use change. Continental Shelf Research. 25, 349–371.

- LeRoy Poff N, Bledsoe BP, Cuhacyan CO. 2006. Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. *Geomorphology*; 79: 264–285
- Lespez L. 2003. Geomorphic responses to long-term land use changes in eastern Macedonia (Greece). *Catena*; 51: 181-208.
- Lesueur, P, Jouanneau, J, Boust, D, Tastet, J, Weber, O. 2001. Sedimentation rates and fluxes in the continental shelf mud fields in the Bay of Biscay (France). *Continental Shelf Research*. 21, 1383-1401.
- Li J, Liu C, Zhu Z. 2008. Historical eutrophication in Lake Taihu: evidence from biogenic silica and total phosphorus accumulation in sediments from northern part of Lake Taihu. *Environ Geol*. 55, 1493-1500.
- Li J, Zheng B, Hu X, Wang Y, Ding Y, Liu F. 2015. Terrestrial input and nutrient change reflected by sediment records of the Changjiang River Estuary in recent 80 years. *Acta Oceanologica Sinica*. 34, 2, 27-35.
- Li N, Wang L, Zeng CH, Wan D, Liu D, Wu X. 2016. Variations of Runoff and Sediment Load in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, China (1950-2013). *PLOS ONE* | DOI:10.1371, 2016 1-18
- Liang K, Hu X, Li S, Huang C, Tang Y. 2014. Anthropogenic Effect on Deposition Dynamics of Lake Sediments Based on ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ Techniques in Jiuzhaigou National Nature Reserve, China. *Chin. Geogra. Sci*. 24, 2, 180–190.
- Ligero, R, Barrera, M, Casas Ruiz, M. 2005. Levels of ^{137}Cs in muddy sediments on the seabed in the Bay of Cádiz (Spain). Part II. Model of vertical migration of ^{137}Cs . *Journal of Environmental Radioactivity*. 80, 87-103.
- Ligero, R, Casas Ruiz, M, Barrera, M, Barbero, L, Meléndez, M. 2010. An alternative radiometric method for calculating the sedimentation rates: Application to an intertidal region (SW of Spain). *Applied Radiation and Isotopes*. 68, 1602-1609.
- Lim D, Choi J, Jung H, Rho K, Ahn K. 2007. Recent sediment accumulation and origin of shelf mud deposits in the Yellow and East China Seas. *Progress in Oceanography*. 73, 145-159.
- Lima A, Hubeny J, Reddy C, King J, Hughen, K, Eglinton T. 2005. High-resolution historical records from Pettaquamscutt River basin sediments: 1. ^{210}Pb and varve chronologies validate record of ^{137}Cs released by the Chernobyl accident. *Geochimica et Cosmochimica*. 69, 7, 1803–1812.
- Lintern A, Leahy P, Zawadzki A, Gadd P, Heijnis H, Jacobsen G, Connor S, Deletic A, McCarthy D. 2016. Sediment cores as archives of historical changes in floodplain lake hydrology. *Science of the Total Environment*. 544, 1008-1019.
- Liu E, Shen J, Zhang E, Wu Y, Yang L. 2010. A geochemical record of recent anthropogenic nutrient loading and enhanced productivity in Lake Nansihu, China. *J Paleolimnol*. 44, 15-24.
- Liu G, Zhang G, Li X, Li J, Peng X, Qi S. 2005. Sedimentary record of polycyclic aromatic hydrocarbons in a sediment core from the Pearl River Estuary, South China. *Marine Pollution Bulletin*. 51, 912-921.

- Liu J, Li A, Xu K, Velozzi D, Yang Z, Milliman J, DeMaster D. 2006. Sedimentary features of the Yangtze River-derived along-shelf clinoform deposit in the East China Sea. *Continental Shelf Research*. 26, 2141-2156.
- Liu J, Lin Z, Zhang H, Han B. 2012. Hydrodynamic change recorded by diatoms in sediments of Liuxihe Reservoir, southern China. *J Paleolimnol*. 47, 17-27.
- Liu W, Wu J, Ma L, Zeng H. 2014. A 200-year sediment record of environmental change from Lake Sayram, Tianshan Mountains in China. *GFF –UPPSALA*. 136, (4): 548-555.
- Liverman DM, Roman-Cuesta, RM. 2008. Human interactions with the earth system: people and pixels revisited. *Earth Surface Processes and Landforms*; 33: 1458-1471.
- Logan B, Taffs K, Eyre B, Zawadski A. 2011. Assessing changes in nutrient status in the Richmond River estuary, Australia, using paleolimnological methods. *J Paleolimnol*, 46 (4): 503–510.
- Long D, Parsons M, Yansa C, Yohn S, McLean C, Vannier R. 2010. Assessing the response of watersheds to catastrophic (logging) and possible secular (global temperature change) perturbations using sediment-chemical chronologies. *Applied Geochemistry*. 25, 143–158.
- Lonigro T, Gentile F, Polemio M. 2015. The influence of climate variability and land use variations on the occurrence of landslide events (Subappennino Dauno, Southern Italy). *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, 35, 192–195.
- Lu XX. 2005. Spatial variability and temporal change of water discharge and sediment flux in the Lower Jinsha tributary: Impact of environment changes. *River Research and Applications*; 21 (2-3): 229-243.
- Lu Y, Meyers P, Johengen T, Eadie B, Robbins J, Han H. 2010. $\delta^{15}\text{N}$ values in Lake Erie sediments as indicators of nitrogen biogeochemical dynamics during cultural eutrophication. *Chemical Geology*. 273, 1–7.
- Luttig GW. 1992. The environmental impact caused by the use of geopotential. In: Kozlovsky EA, ed. *Geology and the environment*; Vol. III, UNESCO-UNEP, Paris-Nairobi: 31-51.
- Ma L, Wu L, Yu H, Zeng H, Abuduwaili J. 2011. The Medieval Warm Period and the Little Ice Age from a sediment record of Lake Ebinur, northwest China. *Boreas*. 40, 518-524.
- Macaire JJ, Bellemlil S, Di Giovanni C, De Luca P, Visset L, Bernard J. 2002. Sediment yield and storage variations in the Négron river catchment (South western parisian basin, France) during the Holocene period. *Earth Surface Processes and Landforms*; 27: 991-1009.
- Madison A. 2007. *Contours of the world economy 1-2030 AD. Essays in Macro-Economic History*. Oxford Univ. Press.
- Magilligan FJT, Nislow, KH. 2006. Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology*; 71: 61–78.
- Marsh GP. 1874. *The Earth as modified by human action (a new edition of Man and Nature)*. Scribner, Armstrong & Co., New York.

- Marston F, Prosser I, Hughes A, Lu H, Stevenson J. 2001. Waterborne erosion – an Australian story; Content for the Australian Natural Resources Atlas Storyboards. CRISO, Technical Report. 50p.
- McCall P, Robbins J, Matisoff G. 1984. ^{137}Cs and ^{210}Pb transport and geochronologies in urbanized reservoirs with rapidly increasing sedimentation rates. *Chemical Geology*. 44, 33-65.
- McClintock K, Harbor JM. 1995. Modeling potential impacts of land development on sediment yields. *Physical Geography*; 16 (5): 359-370.
- McDonald C, Urban N. 2007. Sediment radioisotope dating across a stratigraphic discontinuity in a mining-impacted lake. *Journal of Environmental Radioactivity*. 92, 80-95.
- Meade RH. 1982. Sources, sinks and storage of river sediment in the Atlantic drainage of the United States. *The Journal of Geology*; 90 (3): 235-252.
- Meade RH, Parker R. 1985. Sediment in rivers of the United States. *National Water Summary 1984*. USGS Water- Supply Paper vol. 2274. U.S. Geological Survey. Washington: 49-60.
- Meade RH, Yuzuk TR, Day TJ. 1990. Movement and storage of sediment in rivers of the United States and Canada. In *Surface Water Hydrology. The Geology of North America* vol. 0-1, Wolman MG, Riggs HC, eds. Geological Society of America Boulder, Colorado: 255–280.
- Menéndez A. 2006. Tendencias hidrológicas en la cuenca del Plata. En: Barros V, Clarke R, Silva Días P, eds. *El Cambio Climático en la cuenca del Plata, Proyecto SGPII 057: Trends in the hidrological cycle of the Plata basin: Raising awareness and new tools for water management*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires.
- Meusburger K, Alewell C. 2008. Impacts of anthropogenic and environmental factors on the occurrence of shallow landslides in an alpine catchment (Urseren Valley, Switzerland). *Nat Hazards Earth Syst Sci*; 8: 509–520.
- Meybeck M, Laroche L, Durr HH, Syvitski JP. 2003. Global variability of daily total suspended solids and their fluxes. *Global Planet. Change*; 39: 65-93.
- Meyer I, Wagner S. 2009. The Little Ice Age in Southern South America: Proxy and Model Based Evidence. *Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions. Developments in Paleoenvironmental Research*; 14: 395-97.
- Miao C, Ni J, Alistair GL, Lin Yang L. 2011. A preliminary estimate of human and natural contributions to the changes in water discharge and sediment load in the Yellow River. *Global and Planetary Change*; 76 (3-4): 196-205.
- Michelena RO. 2014. Comunicación personal.
- Michelena RO, Irurtia CB, Pittaluga A, Vavruska F, de Sardi MEB. 1988. Degradación de los suelos en el sector norte de la pampa ondulada. *Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*; 6(1): 60-66.
- Michelena RO, Irurtia CB, Mon N, Pittaluga A, Vavruska F. 1991. Degradación de Suelos en el norte de la Región Pampeana. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Publicación Técnica nº 6.
- Miller J, Lord M, Yurkovich S, Mackin G, Kolenbrander L. 2005. Historical trends in sedimentation rates and sediment provenance, Fairfield Lake,

- Western North Carolina. *Journal of the American Water Resources Association*. 41, 5, 1053-1075.
- Milliman JD, Farnsworth KL. 2011. River discharge to the coastal ocean. A global synthesis. Cambridge Univ. Press, New York.
- Milliman JH, Meade RH. 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *Journal of Geology*; 91: 1-21.
- Milliman JH, Syvitski JPM. 1992. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *Journal of Geology*; 100: 325-344.
- Mobarek IE. 1972. The Nile Delta coastal protection project. In *Proceedings of the 13th ASCE Coastal Engineering Conference*. Vancouver, Canada: 1409-1426.
- Monge-Ganuzas M, Cearreta A, Iriarte E. 2008. Consequences of estuarine sand dredging and dumping on the Urdaibai Reserve of the Biosphere (Bay of Biscay): the case of the "Mundaka left wave". *Journal of Iberian Geology*; 34(2): 215-234.
- Monge-Ganuzas M, Cearreta A, Evans G. 2012. Morphodynamic consequences of dredging/ dumping activities along the lower Oka estuary (Urdaibai Biosphere Reserve, southeastern Bay of Biscay, Spain). *Ocean and Coastal Management*. doi:10.1016/j.ocecoaman.2012.02.006
- Morelli G, Gasparon M, Fierro D, Hu W, Zawadzki A. 2012. Historical trends in trace metal and sediment accumulation in intertidal sediments of Moreton Bay, southeast Queensland, Australia. *Chemical Geology*. 300-301, 152-164. Munich Re <http://www.munichre.com/>
- Murray, E.; Haese, R.; Grosjean, E.; Macphail, M.; Hancock, G. (2008). Historic environmental changes and present-day nutrient release from sediments in Stokes Inlet and Wellstead Estuary, south-western Australia. *Coastal Research and Management, Consultant Palynological Services; Australian National University; CSIRO Land and Water*. Record 2008/22, Australia, Canberra. Technical Report, 63pp.
- Naredo JM, Gutiérrez L (eds). 2005. La incidencia de la especie humana sobre la faz de la tierra (1955-2005). Colección Economía y Naturaleza. Universidad de Granada – Fundación César Manrique.
- Nature, 2011. Editorial. Vol. 473, Issue 7347, p. 254.
- Neff J, Ballantyne A, Farmer G, Mahowald N, Conroy J, Landry C, Overpeck J, Painter T, Lawrence C, Reynolds R. 2008. Increasing eolian dust deposition in the western United States linked to human activity. *Natural Geoscience*. 1, 189-195.
- Ni Z, Wang S, Chu Z, Jin X. 2015. Historical accumulation of N and P and sources of organic matter and N in sediment in an agricultural reservoir in Northern China. *Environ Sci Pollut Res*. 22, 9951-9964.
- Nogués S. 1987. Torrelavega: un espacio industrializado. Servicio de Publicaciones, Ayuntamiento de Torrelavega, España.
- OAS-UNEP. 2005. Organization of American States. Office for Sustainable Development and Environment, UNEP. Water Project Series, Number 1.

- Bermejo River Basin. Implementation of the Strategic Action Programme for the Binational Basin of the Bermejo River. In <http://www.cbbermejo.org.ar>
- OEA. 1971. Cuenca del Río de La Plata. Estudio para su planificación y desarrollo. Inventario de la información básica sobre recursos naturales. Organización de los Estados Americanos. Oficina de Desarrollo Regional; Unidad de Recursos Naturales, Washington, D.C.
- OFICEMEN, 2010. Evolución histórica del consumo de cemento. Memoria anual 2010. <http://www.oficemen.com>.
- Oldfield, F, Appleby, P, Van Der Post, K. 1999. Problems of core correlation, sediment source ascription and yield estimation in Ponsonby Tarn, west Cumbria, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*. 24, 975-992.
- Ometto JP, Sampaio G, Marengo J, Assis T, Tejada G, Aguiar AP. 2013. Climate Change and Land Use Change in Amazonia. Report for Global Canopy Programme and International Center for Tropical Agriculture as part of the Amazonia Security Agenda project.
- O'Reilly, J, León Vintró, L, Mitchell, P, Donohue, I, Leira, M, Hobbs, W, Irvine, K. 2011. ^{210}Pb – dating of a lake sediment core from Lough Carra (Co. Mayo, western Ireland): use of paleolimnological data for chronology validation below the ^{210}Pb dating horizon. *Journal of Environmental Radioactivity*. 102, 495-499.
- Osterman L, Poore R, Swarzenski P, Senn D, DiMarco S. 2009. The 20th-century development and expansion of Louisiana shelf hypoxia, Gulf of Mexico. *Geo Marine Letters*, 29 (6): 405–414.
- Osterman L, Poore R, Swarzenski P, Turner R. 2005. Reconstructing a 180 yr record of natural and anthropogenic induced low-oxygen conditions from Louisiana continental shelf sediments. *Geological Society of America*. 33, 4, 329-332.
- Osterman L, Smith C. 2012. Over 100 years of environmental change recorded by foraminifers and sediments in Mobile Bay, Alabama, Gulf of Mexico, USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 115, 345-358.
- Ostrom P, Ostrom N, Henry J, Eadie B, Meyers P, Robbins J. 1998. Changes in the trophic state of Lake Erie: discordance between molecular $\delta^{13}\text{C}$ and bulk $\delta^{13}\text{C}$ sedimentary records. *Chemical Geology*. 152, 163–179.
- Otonello M, Reinoso G, Ruthsatz B. 1982. Environment, human settlement and agriculture in the Puna de Jujuy, Argentina; a case study of land change. *Mountain Research and Development*; 2 (1): 111-126.
- Owen R, Lee R. 2004. Human impacts on organic matter sedimentation in a proximal shelf setting, Hong Kong. *Continental Shelf Research*. 24, 583-602.
- Owens PN, Walling DE, Leeks GJL. 1999. Use of floodplain sediment cores to investigate recent historical changes in overbank sedimentation rates and sediment sources in the catchment of the river Ouse, Yorkshire, U.K. *Catena*; 36: 21-47.
- Owens PN, Walling DE. 2002. Changes in sediment sources and floodplain deposition rates in the catchment of the river Tweed, Scotland, over the last 100 years: the impact of climate and land use change. *Earth Surface Processes and Landforms*; 27: 403-423.

- Palinkas, C, Nittrouer, C. 2007. Modern sediment accumulation on the Po shelf, Adriatic Sea. *Continental Shelf Research*. 27, 489-505.
- Pan S, Tims S, Liu X, Fifield L. 2010. ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ concentrations and the $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratio in a sediment core from the sub-aqueous delta of Yangtze River estuary. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102: 930-36.
- Paoli C, Cacik P. 2000. Régimen de crecida y análisis de caudales máximos. En: Paoli C, Schneider M, eds. *El río Paraná en su tramo medio*. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe Argentina: 109-171.
- Parsons M, Dortch Q, Turner R, Rabalais N. 2006. Reconstructing the development of eutrophication in Louisiana salt marshes. *Limnology and Oceanography*. 51, 1, 2, 534–544.
- Parsons M, Dortch Q, Turner R. 2002. Sedimentological evidence of an increase in *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) abundance in response to coastal eutrophication. *Limnology and Oceanography*. 47, 2, 551-558.
- Parsons M, Long D, Yohn S. 2010. Assessing the natural recovery of a lake contaminated with Hg using estimated recovery rates determined by sediment chronologies. *Applied Geochemistry*. 25, 1676–1687.
- Pavlovic, G, Barisic, D, Lovrencic, I, Orescanin, V, Prohic, E. 2005. Use of fallout ^{137}Cs for documenting the chronology of overbank sediments from the river Sava, Croatia, and interpreting their geochemical patterns. *Environ Geol*. 47, 475-481.
- PCBAP. 1997. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai. Ministério do Meio Ambiente, Programa Nacional do Meio Ambiente, Brasília.
- Peart MR, Ng KY, Zhang DD. 2005. Landslides and sediment delivery to a drainage system: some observations from Hong Kong. *J Asian Earth Sci*; 25(5): 821–836.
- Peng J, Chen S, Dong P. 2010. Temporal variation of sediment load in the Yellow River basin, China, and its impacts on the lower reaches and the river delta. *Catena*; 83: 135-147
- Pereyra FX. 2004. Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*; 59(3): 394-410.
- Pereyra FX, Rimoldi EH. 2003. Geological and environmental aspects of the development of megacities: the case of Buenos Aires metropolitan area (AMBA), Argentina. *Bulletin of Engineering Geology & Environment*; 62: 341–351.
- 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.
- Pérez Avelleira, S. 2015. Datación de sedimentos y evaluación de la tasa de acumulación sedimentaria mediante el análisis de la radiactividad de ^{210}Pb y ^{137}Cs . Trabajo Fin de Grado en Física Universidad de Cantabria. 45pp.
- Petrow T, Merz B. 2009. Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951-2002. *Journal of Hydrology*; 371: 129-141.

- Phillips J. 2001. Sedimentation in bottomland hardwood downstream of an esat Texas dam. *Environmental Geology*. 40, 860-868.
- Phillips JD. 1999. *Earth surface systems. Complexity, Order, and Scale*. Basil Blackwell, Oxford, UK.
- Phippen SJ, Wohl E. 2003. An assessment of land use and other factors affecting sediment loads in the Rio Puerco watershed, New Mexico. *Geomorphology*; 52: 269-287.
- Phipps R, Johnson G, Terrio P. 1995. Dendrogeomorphic Estimate of Changes in Sedimentation Rate along the Kankakee River Near Momence, Illinois. U.S. Geological Survey-Water-Resources Investigations Report 94-4190. 33pp.
- Piccarreta M, Capolongo D, Boenzi F, Bentivenga M. 2006. Implications of decadal changes in precipitation and land use policy to soil erosion in Basilicata, Italy. *Catena*; 65:138–151.
- Pietsch T, Brooks A, Spencer J, Olley J, Borombovits D. 2013. Appendix 10: Age, distribution and significance within a sediment budget of in-channel benches in the Normanby River. An empirically-based sediment budget for the normanby basin. Australian Rivers Institute, Griffith University, Australia.. Science Report. 32p.
- Plater, A, Ridgway, j, Appleby, P, Berry, A, Wright, M. 1998. Historical Contaminant Fluxes in the Tees Estuary, UK: Geochemical, Magnetic and Radionuclide Evidence. *Marine Pollution Bulletin*. 37, 3-7.
- Poulos SE, Collins MB. 2002. Fluviatile sediment fluxes to the Mediterranean Sea: a quantitative approach and the influence of dams. *Geological Society of London* 2002; 191: 227-245.
- Prance GT, Schaller GB. 1982. Preliminary study of some vegetation types of the Pantanal, Mato Grosso, Brazil. *Brittonia*; 34(2): 228-251.
- Prego R, Boi P, Cobelo-García A. 2008. The contribution of total suspended solids to the Bay of Biscay by Cantabrian Rivers (northern coast of the Iberian Peninsula). *Journal of Marine Systems*; 72: 342-349.
- Price SJ, Ford JR, Cooper AH, 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.
- Projeto Piracena. 2001. www.cena.usp.br/piracena.
- Pruthiviraj T, Vasudevan S, Kumar B, Singhal R, Vijayakumar V. 2014. Rate of sedimentation in Veeranam Lake, South India, using ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb. *International Journal of Advanced Earth Science and Engineering*. 3, 1,143-150.
- Putyrskaya,V, Klemm, E, Röhlén, S, Astner, M, Sahli, H. 2015. Dating of sediments from four Swiss prealpine lakes with ²¹⁰Pb determined by gamma-spectrometry: progress and problems. *Journal of Environmental Radioactivity*. 145, 78-94.
- Rai S, Kumar V, Kumar B. 2010. Sedimentation rate and pattern of a Himalayan foothill lake using ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb. *Hydrological Sciences Journal*. 52:1, 181-191.

- Ramesh R, Purvaja R, Ramesh S, James R. 2002. Historical pollution trends in coastal environments of India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 79, 151-176.
- Ramesh R, Subramanian V, Pillai K. 1988. Sediment and elemental accumulation rates in the Krishna river basin, India. *The Science of the Total Environment*. 72, 221-226.
- Ramesh, R. (1988). Sediment accumulation and metal deposition rates in the Krishna River Basin. *The Science of the Total Environment*; 72, 221-226.
- Ramos-Scharrón CE, Mac Donald LH. 2005. Measurement and prediction of sediment production from unpaved roads, St John, US Virgin Islands. *Earth Surface Processes and Landforms*; 30: 1283–1304.
- Ramos-Scharrón CE, MacDonald LH. 2007. Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources, St. John, U.S. Virgin Islands. *Catena*; 71: 250-266.
- Ravichandran M, Baskaran M, Santschi P, Bianchi T. 1995. Geochronology of sediments in the Sabine-Neches estuary, Texas, U.S.A. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*. 125, 291-306.
- Rawat JS, Rawat G, Rai SP. 2000. Impact of human activities on geomorphic processes in the Almora region, Central Himalaya, India. In: Slaymaker O, ed. *Geomorphology, human activity and global environmental change*, Wiley, Chichester: 285-299.
- Reichenbach P, Busca C, Mondini AC, Rossi M. 2014. The Influence of Land Use Change on Landslide Susceptibility Zonation: The Briga Catchment Test Site (Messina, Italy). *Environmental Management*, 54:1372–1384
- Remondo J. 2001. Elaboración y validación de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante técnicas de análisis especial. Tesis de Doctorado, Universidad de Cantabria, Santander.
- Remondo J, Bonachea J, Cendrero A. 2004. Probabilistic landslide hazard and risk mapping on the basis of occurrence and damages in the recent past. In: Lacerda WA, Ehrlich M, Fontoura SA, Sayao ASF, eds. *Landslides; evaluation and stabilization*, Balkema, New York: 125-130.
- Remondo J, Bonachea J, Cendrero A. 2005 a. Landslide risk modelling at basin scale; from susceptibility to quantitative risk assessment. *Landslides*; 2: 321-328.
- Remondo J, González-Díez A, Soto J, Díaz de Terán JR, Cendrero A. 2005 b. Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas. *Geomorphology*; 66: 69-84.
- Remondo J, González-Díez A, Díaz de Terán JR, Cendrero A, Fabbri A, Chung CF. 2003. Validation of landslide susceptibility maps; examples and applications from a case study in northern Spain. *Natural Hazards*; 30: 437–449.
- Remondo J, Bonachea J, Cendrero A. 2008. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences. *Geomorphology*; 94: 496-507.

- Renwick WH, Carlson KJ, Hayes-Bohanan JK. 2005 a. Trends in recent reservoir sedimentation rates in Southwestern Ohio. *Journal of Soil and Water Conservation*; 60 (2): 72-79.
- Renwick WH, Smith SV, Bartley JD, Buddemeier RW. 2005 b. The role of impoundments in the sediment budget of the conterminous United States. *Geomorphology*; 71: 99-111.
- Richerson P, Suchanek T, Zierenberg R, Osleger D, Heyvaert A, Slotton D, Eagles-Smith C, Vaughn C. 2008. Anthropogenic stressors and changes in the clear lake ecosystem as recorded in sediment cores. *Ecological Applications*. 18,8 Supplement, A257–A283.
- Riggi J, Fidalgo F, Martínez O, Porro N. 1986. Geología de los "Sedimentos Pampeanos" en el partido de La Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*; 41(3-4): 316-333.
- Rioual P, Lu Y, Yang H, Scuderi L, Chu G, Holmes J, Zhu B, Yang X. 2013. Diatom–environment relationships and a transfer function for conductivity in lakes of the Badain Jaran Desert, Inner Mongolia, China. *J Paleolimnol*. 50, 207-229.
- Ritchie JC, Finney VL, Oster KJ, Ritchie CA. 2004. Sediment deposition in the flood plain of Stemple Creek watershed, northern California. *Geomorphology*; 61: 347-360.
- 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.
- Robbins J, Edgington D. 1975. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and CS-137. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 39, 285-304.
- Robbins J, Edgington D, Kemp A. 1978. Comparative ^{210}Pb , ^{137}Cs , and pollen geochronologies of sediments from Lakes Ontario and Erie. *Quaternary Research*. 10, 256-278.
- Ródenas C, Gómez J, Soto J. 2004. Medida de ^{210}Pb para datación de sedimentos en estuarios. *Revista Investigación Pesquera*; 1E: 1-6.
- Rose, N, Harlock, S, Appleby, A. 1999. The spatial and temporal distributions of spheroidal carbonaceous fly-ash particles (scp) in the sediment records of european mountain lakes. *Water, Air, and Soil Pollution*. 113, 1-32.
- Rose N, Rose C, Boyle J, Appleby P. 2004. Lake-sediment evidence for local and remote sources of atmospherically deposited pollutants on Svalbard. *Journal of Paleolimnology*. 31, 499-513.
- Routh, J, Meyers, P, Hjorth, T, Baskaran, M, Hallberg, R. 2007. Sedimentary geochemical record of recent environmental changes around Lake Middle Marviken, Sweden. *J Paleolimnol*. 37, 529-545.
- Ruiz-Fernández AC, Páez-Osuna F, Urrutia-Fucugauchi J, Preda M. 2005. ^{210}Pb geochronology of sediment accumulation rates in Mexico City Metropolitan Zone as recorded at Espejo de los Lirios lake sediments. *Catena*; 61: 31-48.

- Rustomji P, Caitcheon G. 2010. A catchment sediment and nutrient budget for the Daly River, Northern Territory. CSIRO - Water for a Healthy Country Report Series ISSN: 1835-095X. 64p.
- Rustomji P, Pietsch T. 2007. Alluvial sedimentation rates from south eastern Australia indicate post-European settlement landscape recovery, *Geomorphology*; 90: 73 – 90.
- Rustomji P, Pietsch T, Wilkinson S. 2006. Pre- and post-European settlement patterns of floodplain deposition in the Lake Burragorang Catchment, *Sci. Rep.* 38/06, CSIRO Land and Water, Canberra.
- Ryan K, Walsh J, Corbett D, Winter A. 2008. A record of recent change in terrestrial sedimentation in a coral-reef environment, La Parguera, Puerto Rico: A response to coastal development? *Marine Pollution Bulletin.* 56, 1177-1183.
- Samia J, Temme A, Bregt A, Wallinga J, Guzzetti F, Ardizzone F, Rossi M. 2016. Do landslides follow landslides? Insights in path dependency from a multi-temporal landslide inventory. *Landslides*, DOI 10.1007/s10346-016-0739-x
- Sánchez-Cabeza JA, Ani-Ragolta I, Masqué P. 2000. Some considerations of the ^{210}Pb constant rate of supply (CRS) dating model. *Limnology and Oceanography*; 45 (4): 990-995.
- Sanders R, Coale K, Gill G, Andrews A, Stephenson M. 2008. Recent increase in atmospheric deposition of mercury to California aquatic systems inferred from a 300-year geochronological assessment of lake sediments. *Applied Geochemistry.* 23, 399–407.
- San Miguel EG, Bolívar JP, Garcia-Tenorio R. 2004. Vertical distribution of Th-isotope ratios, ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs in sediment cores from an estuary affected by anthropogenic releases. *The Science of the Total Environment*; 318 (1-3):143-157.
- Santini M, Valentini R. 2011. Predicting hot-spots of land use changes in Italy by ensemble forecasting. *Environmental Change*, 11: 483.
- Saravana Kumar U, Navada S, Rao S, Nachiappan RmP, Kumar B, Krishnamoorthy T, Jha S, Shukla V. 1999. Determination of recent sedimentation rates and pattern in Lake Naini, India by ^{210}Pb and ^{137}Cs dating techniques. *Applied Radiation and Isotopes.* 51, 97-105.
- Sarkar S, Prakasam M, Banerji U, Bhushan R, Kumar Gaury P, Kumar Meena N. 2016. Rapid sedimentation history of Rewalsar Lake, Lesser Himalaya, India during the last fifty years - Estimated using ^{137}Cs and ^{210}Pb dating techniques: A comparative study with other North-Western Himalayan Lakes. *Himalayan Geology.* 37 (1), 1-7.
- Sarubbi A, Pittau M, Menéndez AN. 2004. Delta del Paraná: Balance de Sedimentos. Informe LHA 02-235-04. INA. Buenos Aires, Argentina.
- Sarubbi A, Pittau MG, Menéndez AN. 2006. Delta del Paraná: avance del frente e incremento areal. INA. Proyecto LHA 235 Informe LHA 05-235-06. Buenos Aires, Argentina.

- Saurral RI, Barros VR, Lettenmaier DP. 2008. Land use impact on the Uruguay River discharge. *Geophysical Research Letters*; 35, L12401, doi:10.1029/2008GL033707.
- Schettler, G, Schwab, M, Stebich, M. 2007. A 700-year record of climate change based on geochemical and palynological data from varved sediments (Lac Pavin, France). *Chemical Geology*. 240, 11-35.
- Schmitt A, Dotterweich M, Schmidtchen G, Bork HR. 2003. Vineyards, hopgardens and recent afforestation: effects of late Holocene land use change on soil erosion in northern Bavaria, Germany. *Catena*; 51: 241-254.
- Schottler S, Engstrom D. 2006. A chronological assessment of Lake Okeechobee (Florida) sediments using multiple dating markers. *Journal of Paleolimnology*. 36, 19–36.
- Schumm SA, Lichty RW. 1963. Channel widening and floodplain construction along Cimarron River in southwestern Kansas. *US Geol. Survey Prof. Pap.* 352-D.
- Selig, U, Leipe, T. 2008. Stratigraphy of nutrients and metals in sediment profiles of two dimictic lakes in North-Eastern Germany. *Environ Geol.* 55, 1099-1107.
- Selvaraj K, Lin B, Lou J, Xia W, Huang X, Chen C-T. 2015. Lacustrine sedimentological and geochemical records for the last 170 years of climate and environmental changes in southeastern China. *Boreas*. 10.1111/bor.12143. ISSN 0300-9483.
- Serna, A, Pätsch, J, Dähnke, K, Wiesner, M, Hass, H, Zeiler, M, Habbeln, D, Emeis, K. 2010. History of anthropogenic nitrogen input to the German Bight/SE North Sea as reflected by nitrogen isotopes in surface sediments, sediment cores and hindcast models. *Continental Shelf Research*. 30, 1626-1638.
- Shen J, Liu E, Zhu Y, Hu S, Qu W. 2007. Distribution and chemical fractionation of heavy metals in recent sediments from Lake Taihu, China. *Hydrobiologia*. 581, 141-150.
- Singh S, Thakural L, Kumar B. 2008. Estimation of sediment rates and life of Sagar Lake Using Radiometric Dating Techniques. *Water Resour Manage*. 22, 443-455.
- Siakeu J, Oguchi T, Tatsuto A, Esaki Y, Jarvie HP. 2004. [Change in riverine suspended sediment concentration in central Japan in response to late 20th century human activities](#). *Catena* 2004; 55(2): 231-254.
- Sigha-Nkamdjou L, Ndam JR, Bello M, Kamgang R, Ekodeck GE, Ouafu MR, Mahe G, Paturel JE, Servat E, Sighomnou D, Lienou G. 2005. Climatic and human impacts on sediment fluxes of river basins in Cameroon with contrasting land cover. *IAHS-AISH Publication*; 292: 291-298.
- Silva JSV da, Abdon MM de, Boock A, Silva MP da. 1998. Delimitation of the Brazilian Pantanal and its sub-regions. *Brazilian Journal of Agricultural Research*; 33: 1703–1713. 434 pp.
- Singh AL, Asgher MS. 2005. Impact of brick kilns on land use/land cover changes around Aligarh city, India. *Habitat International*; 29: 591–602.

- Slaymaker O (ed). 2000. *Geomorphology, human activity and global environmental change*. Wiley, Chichester.
- Slaymaker O, Spencer T, Embleton-Hamann C (eds). 2009. *Geomorphology and global environmental change*. Cambridge U. Press, Cambridge.
- Sloss C, Jones B, Brooke B, Heijnis H, Murray-Wallace C. 2011. Contrasting sedimentation rates in Lake Illawarra and St Georges Basin, two large barrier estuaries on the southeast coast of Australia. *J Paleolimnol.* 46, 561-577.
- Sloss C, Jones B, Murray-Wallace C, Chenhall, B. 2004 a. Recent sedimentation and geomorphological changes, Lake Illawarra, NSW, Australia. *Wetlands (Australia)*. 21, 73-83.
- Sloss C, Murray-Wallace C, Jones B, Wallin T. 2004 b. Aspartic acid racemisation dating of mid-Holocene to recent estuarine sedimentation in New South Wales, Australia: a pilot study. *Marine Geology.* 212, 45-59.
- Sloss C, Murray-Wallace C, Jones B. 2006. Aminostratigraphy of two holocene wave-dominated barrier estuaries in southeastern Australia. *Journal of Coastal Research.* 22, 1, 113-136.
- Smalley C. 2010. *Radioisotope Geochronology of Lake Superior Sediments*. Thesis. B.S.Evs., Creighton University. 84pp.
- Smith C, Osterman L, Poore R. 2013. An Examination of Historical Inorganic Sedimentation and Organic Matter Accumulation in Several Marsh Types within the Mobile Bay and Mobile-Tensaw River Delta Region. *Journal of Coastal Research.* 63, 68-83.
- Soto J, Gómez J, Viguri J, Cendrero A, Irabien MJ, Yusta I, Gelen A, Díaz O. 2006. Increase of sedimentation rates in an estuarine system. *Contribution to Education and Environmental Protection*; 7: 35-40.
- Soto J, Soto JA, Corral D, Francés E, Cendrero A, Navas A. 2003. Tasas de sedimentación y contaminación de sedimentos en Urdaibai, Vizcaya, España. *II Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Marina*. Alicante. Libro de Ponencias, t. 1: 205-211. ISBN 84-9758-463-5.
- Soto-Torres J, Soto-Velloso JA, Ródenas G, Gelen A, 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.
- Sowa A, Ibe KM, Iwuagwu CJ. 1990. The activation of erosion by sand dredging and other anthropogene environmental impacts in the Owerri urban area, SE Nigeria. In: Lüttig GW, ed. *Geosciences assissting land-use planning in setting opposing interests between aggregate extraction and environmental protection*. Universitat Erlangen, Nurnberg: 23-24.
- Sparovek G, Schnug E. 2001. Temporal erosion-induced soil degradation and yield loss. *Soil Sci Am Soc*; 65:1479-86.
- Spencer T, Slaymaker O, Embleton-Hamann C. 2009. Landscape, landscape-scale processes and global environmental change: synthesis and new agendas for the twenty-first century. In: Slaymaker O, Spencer T, Embleton-Hamann C (eds). *Geomorphology and global environmental change*. Cambridge U. Press, Cambridge: 403-423.
- Stankoviansky M. 2003. Historical evolution of permanent gullies in the Myjava Hill Land, Slovakia. *Catena*; 51; 223-239.

- Steffen W, Sanderson A, Tyson PD, Jäger J, Matson PA, Moore B, Oldfield F, Richardson K, Schellnhuber HJ, Turner BL, Wasson RJ. 2004. *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*, Springer-Verlag, Berlin, New York.
- Steffen W, Crutzen PJ, McNeill JR. 2007. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of Nature? *Ambio*; 36: 614-621.
- 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.
- Steffen W, Broadgate W, Deutsch L, Gaffney O, Ludwig C. 2015. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*; 2(1): 81–98.
- Steffen W, Leinfelder R, Zalasiewicz J, Waters CN, Williams M, Summerhayes C, Barnosky AD, Cearreta A, Crutzen P, Edgeworth M, Ellis EC, Fairchild IJ, Galuszka A, Grinevald J, Haywood A, Ivar do Sul J, Jeandel C, McNeill JR, Odada E, Oreskes N, Revkin A, Richter DB, Syvitski J, Vidas D, Wagreich M, Wing SL, Wolfe AP, Schellnhuber HJ. 2016. Stratigraphic and Earth System approaches to defining the Anthropocene. *Earth's Future*, 4, doi:10.1002/2016EF000379.
- Stein M. 2008. *How the States Got Their Shapes*. Smithsonian Books/Collins, N. York.
- Stevaux JC, Latrubesse E, Hermann M, Aquino S. 2009. Floods in Urban Areas of Brazil. In: *Developments in Earth Surface processes. Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America*; 13: 245-266.
- Stevaux JC, Martins DP, Meurer M. 2009. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology*; Doi:10.1016/j.geomorph.2009.03.015.
- Subba Rao N, Prathap Reddy R. 2004. Geoenvironmental appraisal in a developing urban area. *Environmental Geology*; 47: 20–29.
- Swarzenski P, Baskaran M, Rosenbauer R, Orem W. 2006. Historical trace element distribution in sediments from the Mississippi River Delta. *Estuaries and Coasts*. 29, 6, 1094–1107.
- Swarzenski P, Campbell P, Osterman L, Poore R. 2008. A 1000-year sediment record of recurring hypoxia off the Mississippi River: The potential role of terrestrially-derived organic matter inputs. *Marine Chemistry*. 109, 130–142.
- Syvitski JPM, Kettner A. 2011. Sediment flux and the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society A. Mathematical, Physical and Engineering Sciences*; 369: 957-975.
- Syvitski JPM, Milliman JD. 2007. Geology, Geography, and Humans Battle for Dominance over the Delivery of Fluvial Sediment to the Coastal Ocean. *The Journal of Geology*; 115: 1-19.
- Syvitski JPM, Saito Y. 2007. Morphodynamics of deltas under the influence of humans. *Global and Planetary Change*; 57: 261-282.
- Syvitski JPM, Vörösmarty CJ, Kettner AJ, Green P. 2005. Impacts of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*; 308: 376-380.

- Szabó J. 2003. The relationship between landslide activity and weather: examples from Hungary. *Nat Hazards Earth Syst Sci*; 3(1–2): 43–52.
- Szmytkiewicz, A, Zalewska, T. 2014. Sediment deposition and accumulation rates determined by sediment trap and ^{210}Pb isotope methods in the Outer Puck Bay (Baltic Sea). *Oceanologia*. 56, 85–106.
- Tang Q, Bao Y, He X, Zhou H, Cao Z, Gao P, Zhong R, Hu Y, Zhang X. 2014. Sedimentation and associated trace metal enrichment in the riparian zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of the Total Environment* 479–480, 258–266.
- Tang X, Zhang X, Guan Z, Long Y, Tang Q, Lü Y. 2014. Historical Sediment Record of ^{137}Cs , $\delta\text{-HCH}$, and $\delta^{13}\text{C}$ Reflects the Impact of Land Use on Soil Erosion. *J. Mt. Sci.* 11, 4, 866–874.
- Tarolli P, Sofia G. 2016. Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes. *Geomorphology*; 255: 140–161.
- Terry J, Kostaschuk R, Garimella S. 2006. Sediment deposition rate in the Falefa River basin, Upolu Island, Samoa. *Journal of Environmental Radioactivity*. 86, 45–63.
- Ter-Stepanian G. 1988. Beginning of the Technogene. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*; 38: 133–142.
- Theissen K, Hobbs W, Ramstack Hobbs J, Zimmer K, Domine L, Cotner J, Sugita S. 2012. The altered ecology of Lake Christina: A record of regime shifts, land-use change, and management from a temperate shallow lake. *Science of the Total Environment*. 433, 336–346.
- Thomas WL (ed). 1956. *Man's role in changing the face of the Earth*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Thompson LG, Mosley-Thompson E, Davis ME, Lin PN, Henderson K, Mashiotto T A. 2003. "Tropical Glacier and Ice Core Evidence of Climate Change on Annual to Millennial Time Scales". *Climate Variability and Change in High Elevation Regions: Past, Present & Future*. *Advances in Global Change Research*, 15: 137–38.
- Tibby J, Gell P, Hancock G, Clark M. 2009. Complex reservoir sedimentation revealed by an unusual combination of sediment records, Kangaroo Creek Reservoir, South Australia. *J Paleolimnol*. 43, 535–549.
- Trimble SW. 1997. Contribution of stream channel erosion to sediment yield from an urbanizing watershed. *Science*; 278: 1442–1444.
- Tu M, Hall MJ, Laat PJM, de Wit MJM. 2005. Extreme floods in the Meuse River over the past century: aggravated by land-use changes? *Physics and Chemistry of the Earth*, 30: 267–276.
- Tucci CEM. 2002. *Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos*. Brasília: Agência Nacional de Águas.
- Tucci CEM, Clarke RT. 1998. Environmental issues in the La Plata basin. *Water Resources Development*; 14: 157–174.
- Turner BL. 2006. Land change as a forcing function in global environmental change. In: Geist HJ (ed) *Our Earth's changing land: an encyclopedia of land-use and landcover change*, vol 1. Westport: Greenwood Press.

- Turner BL, Clark WC, Kates RW, Richards JF, Mathews JT, Meyer WB. (eds). 1990. The earth as transformed by human action. Cambridge University Press, Cambridge.
- Tylmann, W. 2004. Estimating recent sedimentation rates using ²¹⁰Pb on the example of morphologically Complex Lake (Upper Lake Raduńskie, N Poland). *Geochronometria*. 23, 21-26.
- Tylmann, W, Golebiewski, R, Wozniak, P, Czarnecka, K. 2007. Heavy metals in sediments as evidence for recent pollution and quasi-estuarine processes: an example from Lake Druzno, Poland. *Environ Geol*. 53, 35-46.
- UNEP. 2005. Annual report 2004. United Nations Environment Programme.
- UNEP. 2016. Annual report 2015. United Nations Environment Programme.
- Uriarte A. 1995. Suspended sediment input of the rivers of Guipúzcoa to the continental shelf. *Actas IV Coloquio Internacional sobre Oceanografía del Golfo de Vizcaya*: 113-122.
- US National Atlas, 2014. Edition 1997-2014. <https://web.archive.org/web/20081205020547/http://www.nationalatlas.gov/>
- Vaalgamaa, S. 2004. The effect of urbanisation on Laajalahti Bay, Helsinki City, as reflected by sediment geochemistry. *Marine Pollution Bulletin*. 48, 650-662.
- Vaalgamaa, S, Conley, D. 2008. Detecting environmental change in estuaries: Nutrient and heavy metal distributions in sediment cores in estuaries from the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 76, 45-56.
- Vaalgamaa, S, Korhola, A. 2004. Searching for order in chaos: a sediment stratigraphical study of a multiple-impacted bay of the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 59, 319-332.
- Vaalgamaa, S, Korhola, A. 2007. Geochemical signatures of two different coastal depositional environments within the same catchment. *J Paleolimnol*. 38, 241-260.
- Valentín J. 1898. Bosquejo geológico de la Argentina. Segundo Censo Nacional 1895. Parte geológica: 61-109, Buenos Aires.
- Vanacker V, Vanderschaeghe M, Govers G, Willems E, Poesen J, Deckers J, De Bievre B. 2003. Linking hydrological, infinite slope stability and land-use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on slope stability in High Andean watersheds. *Geomorphology*; 52; 299-315.
- Van Der Post, K, Oldfield, F, Haworth, E, Crooks, P, Appleby, P. 1997. A record of accelerated erosion in the recent sediments of Blelham Tarn in the English Lake district. *Journal of Paleolimnology*. 18, 103-120.
- Van Metre P, Wilson J, Fuller C, Callender E, Mahler B. 2004, Collection, analysis, and agedating of sediment cores from 56 U.S. lakes and reservoirs sampled by the U.S. Geological Survey, 1992–2001: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2004–5184, 180 pp.
- Varekamp JC. 1991. Trace element geochemistry and pollution history of mudflat and marsh sediments from the Connecticut coastline. *Journal of Coastal Research*; S1-11: 105-123.

- Viglizzo EF, Frank FC. 2006. Land-use options for Del Plata basin in South America: Tradeoffs analysis based on ecosystem service provision. *Ecological Economics*; 57: 140–151.
- Viguri JR, Irabien MJ, Yusta JS, Gómez-Arozamena, J, Rodriguez P, Martínez-Madrid, M, Irabien JA, Coz A. 2007. Physico-chemical and toxicological characterization of the historic estuarine sediments: a multidisciplinary approach. *Environment International*; 33: 436–444.
- Villalba R. 1990. Climatic fluctuations in Northern Patagonian during the last 1000 years as inferred from tree-rings records. *Quaternary Research*; 34(3): 346–60.
- Villalba R. 1994. Tree-ring and glacial evidence for the medieval warm epoch and the Little Ice Age in southern South America. *Climatic Change*; 26(2–3): 183–97.
- Vörösmarty CJ, Meybeck M, Fekete B, Sharma K, Green P, Syvitski JPM. 2003. Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. *Global and Planetary Change*; 39: 169–190.
- Vrel, A, Boust, D, Lesueur, P, Deloffre, J, Dubrulle-Brunaud, C, Solier, L, Rozet, M, Thouroude, C, Cossonnet, C, Thomas, S. 2013. Dating of sediment record at two contrasting sites of the Seine River using radioactivity data and hydrological time series. *Journal of Environmental Radioactivity*. 126, 20–31.
- Wackernagel M, Rees W. 1996. Our ecological footprint; reducing human impact on the earth. New Society Publishers, Gabriola Island, BC. Canada.
- Wallace G, Oktay S, Pala F, Ferraro M, Gnatek M, Luce D, Hutcheson M, Rose J. 2004. Determination of recent inputs of Mercury to lakes/ponds in the Merrimack Valley using sediment cores – A Feasibility Study: Final Report. Office of Research and Standards Massachusetts Department Of Environmental Protection. 40pp.
- Walling DE. 1996. Erosion and sediment yield in a changing environment. In: Branson J, Brown AG, Gregory KJ, eds. *Global continental changes: the context of palaeohydrology*, Geological Society, Special Publication; 115: 43–56.
- Walling DE. 2000. Linking land use, erosion and sediment yields in river basins. *Hydrobiologia*; 410: 223–240.
- Walling DE. 2006. Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*; 79: 192–216.
- Walling DE, Fang D. 2003. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global and Planetary Change*; 39: 111–126.
- Walling, D, Owens, P, Foster, I, Lees, J. 2003. Changes in the fine sediment dynamics of the Ouse and Tweed basins in the UK over the last 100–150 years. *Hydrological Processes*. 17, 3245–3269.
- Wan D, Song L, Yang J, Jin Z, Zhan C, Mao X, Liu D, Shao Y. 2016. Increasing heavy metals in the background atmosphere of central North China since the 1980s: Evidence from a 200-year lake sediment record. *Atmospheric Environment*. 138, 183–190.
- Wan G, Bai Z, Qing H, Mather J, Huang R, Wang H, Tang D, Xiao B. 2003. Geochemical records in recent sediments of Lake Erhai: implications for

- environmental changes in a low latitude–high altitude lake in southwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*. 21, 489-502.
- Wan G, Chen J, Xu S, Wu F, Santschi P. Sudden enhancement of sedimentation flux of $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ as an indicator of lake productivity as exemplified by Lake Chenghai. *Science in China Ser. D Earth Sciences*. 48, 4, 484-495.
- Wang FW, Sassa K. 2003. A general mechanism of long-runout landslides induced by earthquake and rainfall in crushable soils. In: *Proceedings of international conference on fast slope movements: prediction and prevention for risk mitigation*, Naples, Italy, pp 531–536.
- Wang G, Zhai Z. 2008. Geochemical data as indicators of environmental change and human impact in sediments derived from downstream marshes of an ephemeral river, Northeast China. *Environ Geol*, 53, 1261-1270.
- Wang A, Gao S, Jia J, Pan S. 2005. Sedimentation rates in the Wangang salt marshes, Jiangsu. *Journal of Geographical Sciences*. 15, 2, 199-209.
- Wang G, Liu J, Tang J. 2004. Historical variation of heavy metals with respect to different chemical forms in recent sediments from Xianghai Wetlands, Northeast China. *Wetlands*. 24, 3, 608-619.
- Wang H, Huo Y, Zeng L, Wu X, Cai Y. 2008. A 42-yr soil erosion record inferred from mineral magnetism of reservoir sediments in a small carbonate-rock catchment, Guizhou Plateau, southwest China. *J Paleolimnol*. 40, 897-921.
- Wang Y, Shen J, Yang X, Zhang E, Liu X, Liu E, Xiao X. 2006. First investigation of desert Lake Hongjiannao, Shannxi Province based on its sediment study. *Chinese Journal of Geochemistry*. 25, 3, 285-294.
- Wang H, Yang Z, Saito Y, Liu JP, Sun X, Yang W. 2007. Stepwise decrease of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950-2005): Impacts of climatic change and human activities. *Global and Planetary Change*; 57: 331-354.
- Wasson R, Clark R, Nanninga P, Waters J. 1987. ^{210}Pb as a chronometer and tracer, Burrinjuck Reservoir, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*. 12, 399-414.
- Wasson R, Clark R, Nanninga P. 1987. ^{210}Pb as a chronometer and tracer, Burrinjuck Reservoir, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*. 12, 399-414.
- Wasowski J. 1998. Understanding rainfall-landslide relationships in man-modified environments: a case-history from Caramanico Terme, Italy. *Environ Geol*; 35(2–3):197–209.
- Wasowski J, Casarano D, Lamanna C. 2007. Is the current landslide activity in the Daunia region (Italy) controlled by climate or land-use change? In: McInnes R, Jakeways J, Fairbank H, Mathie E (eds) *Landslide and climate change*. Taylor & Francis Group, London.
- Wasowski J, Lamanna C, Casarano D. 2010. Influence of land-use change and precipitation, patterns on landslide activity in the Daunia Apennines, Italy. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(4): 387-401.
- Waters CN, Zalasiewicz J, Summerhayes C, Barnosky AD, Poirier C, Gałuszka A, Cearreta A, Edgeworth M, Ellis EC, Ellis M, Jeandel C, Leinfelder R,

- McNeill JR, Richter DB, Steffen W, Syvitski J, Vidas D, Wagreich M, Williams M, Zhisheng A, Grinevald J, Odada E, Oreskes N, Wolfe AP. 2016. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*; Vol 351, Issue 6269:137-147.
- Waugh W, Carroll J, Abraham J, Landeen D. 1998. Applications of Dendrochronology and Sediment Geochronology to Establish Reference Episodes for Evaluations of Environmental Radioactivity. *Journal of Environmental Radioactivity*. 41, 3, 269-286.
- WCED (World Commission on Environment and Development). 1987. Our common future. Oxford Univ.Press, Oxford.
- Weather H, Evans E. 2009. Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy* 26S: S251–S264.
- Wei T, Chen Z, Duan L, Gu J, Saito Y, Zhang W, Wang Y, Kanai Y. 2007. Sedimentation rates in relation to sedimentary processes of the Yangtze Estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 71, 37-46.
- Wheatcroft R, Sommerfield C. 2005. River sediment flux and shelf sediment accumulation rates on the Pacific Northwest margin. *Continental Shelf Research*. 25, 311–332.
- Wilkinson BH, McElroy BJ. 2007. The impact of humans on continental erosion and sedimentation. *GSA Bulletin*; 1(2): 140–156.
- Wilson J, Van Metre P. 2000. Deposition and chemistry of bottom sediments in Cochiti Lake, North-Central New Mexico. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4258. 36pp.
- Winderlich S (ed) 2010. Kakadu National Park Landscape Symposia Series 2007 2009. Symposium 4: Climate change, 6–7 August 2008, Gagudju Crocodile Holiday Inn Kakadu National Park. Internal Report 567, January, Supervising Scientist, Darwin. 130p.
- Wischnewski J, Herzsuh U, Rühland K, Bräuning A, Mischke S, Smol J, Wang L. 2014. Recent ecological responses to climate variability and human impacts in the Nianbaoyeze Mountains (eastern Tibetan Plateau) inferred from pollen, diatom and tree-ring data. *J Paleolimnol*, 51, 287-302.
- Wolman MG. 1967. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Geografiska Annaler*; 49A: 385-395.
- Wolman MG, Schick AP. 1967. Effects of construction on fluvial sediment, urban and suburban areas of Maryland. *Water Resources Research*; 3(2): 451-464.
- Wu J, Lin L, Gagan M, Schleser G, Wang S. 2006. Organic matter stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) response to historical eutrophication of Lake Taihu, China. *Hydrobiologia*. 563, 19-29.
- Wu J, Ma L, Yu H, Zeng H, Liu W, Abuduwaili J. Sediment geochemical records of environmental change in Lake Wuliangsu, Yellow River Basin, north China. *J Paleolimnol*. 50, 245-255.
- Wu J, Yu Z, Zeng H, Wang N. 2009. Possible solar forcing of 400-year wet–dry climate cycles in northwestern China. *Climatic Change*. 96, 473-482.
- Wu Y, Liu E, Bing H, Yang X, Xue B, Xia W. 2010. Geochronology of recent lake sediments from Longgan Lake, middle reach of the Yangtze River,

- influenced by disturbance of human activities. *Sci China Earth Sci.* 53, 1188-1194.
- Wu Y, Liu E, Yao S, Zhu Y, Xia W. 2010. Recent heavy metal accumulation in Dongjiu and Xijiu lakes, East China. *J Paleolimnol.* 43, 385-392.
- Wu Y, Lücke A, Wang S. 2008. Assessment of nutrient sources and paleoproductivity during the past century in Longgan Lake, middle reaches of the Yangtze River, China. *J Paleolimnol.* 39, 451-462.
- Wu Y, Wang S, Xia W, Liu J. 2005. Dating recent lake sediments using spheroidal carbonaceous particle (SCP). *Chinese Science Bulletin.* 50, 10, 1016-1020.
- Wünnemann B, Mischke S, Chen F. 2006. A Holocene sedimentary record from Bosten Lake, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* 234, 223-238.
- Xiang L, Lu X, Higgitt D, Wang S. 2002. Recent lake sedimentation in the middle and lower Yangtze basin inferred from ^{137}Cs and ^{210}Pb measurements. *Journal of Asian Earth Sciences.* 21, 77-86.
- Xiang L. 1998. Dating sediment on several lakes inferred from radionuclide profiles. *Journal of Environmental Sciences.* 10, 1, 56-63.
- Xie L, Zhang Z, Zhang Y, Wang Y, Huang X. 2013. Sedimentation and morphological changes at Yuantuojiang Point, estuary of the North Branch, Changjiang River. *Acta Oceanol.* 32, 2, 24-34.
- Xiong Y, Wu F, Fang J, Wang L, Li Y, Liao H. 2010. Organic geochemical record of environmental changes in Lake Dianchi, China. *J Paleolimnol.* 44, 217-231.
- Xu K, Milliman JD. 2009. Seasonal variations of sediment discharge from the Yangtze River before and after impoundment of the Three George Dam. *Geomorphology*; 104: 276-283.
- Xue B, Yao S. 2011. Recent sedimentation rates in lakes in lower Yangtze River basin. *Quaternary International.* 244, 248-253.
- Yan D, Zhang X, Wen A, He X, Long Y. 2012. Assessment of sediment yield in a small karst catchment by using ^{137}Cs tracer technique. *International Journal of Sediment Research.* 27 547-554.
- Yan P, Shi P, Gao S, Chen L, Zhang X, Bai L. 2002. ^{137}Cs dating of lacustrine sediments and human impacts on Dalian Lake, Qinghai Province, China. *Catena.* 47, 91-99.
- Yang H, Turner S. 2013. Radiometric dating for recent lake sediments on the Tibetan Plateau. *Hydrobiologia*, 713, 73-86.
- Yang M, Kostaschuk R, Chen Z. 2004. Historical changes in heavy metals in the Yangtze Estuary, China. *Environmental Geology.* 46, 857-864.
- Yang SL, Milliman SD, Li P, Xu K. 2011. 50.000 dams later: Erosion of the Yangtze River and its delta. *Global and Planetary Change*; 75(1-2): 14-20.
- Yang X, Wang S, Shen J, Zhu Y, Zhang Z, Wu Y. 2002. Lacustrine environment responses to human activities in the past 300 years in Longgan Lake catchment, southeast China. *Science in China (Series D).* 45, 8, 709-718.

- Yang H, Yi C, Xie P, Xing Y, Ni L. 2006. Sedimentation rates, nitrogen and phosphorus retentions in the largest urban Lake Donghu, China. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 267, 1, 205-208.
- Yang SL, Zhi Z, Zhao HY, Li P, Dai SB, Gao A. 2004. Effects of human activities on the Yangtze River suspended sediment flux into the estuary in the last century. *Hydrology and Earth System Sciences*; 8: 1210–1216.
- Yao S, Li S, Zhang H. 2008. ^{210}Pb and ^{137}Cs dating of sediments from Zigetang Lake, Tibetan Plateau. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 278, 1, 55-58.
- Yao S, Xue B, Xia W, Zhu Y, Li S. 2009. Lead pollution recorded in sediments of three lakes located at the middle and lower Yangtze River basin, China. *Quaternary International*. 208, 145-150.
- Yao S, Xue B. 2014. Heavy metal records in the sediments of Nanyihu Lake, China: influencing factors and source identification. *J Paleolimnol*. 51 15-27.
- Yeager K, Santschi P, Phillips J, Herbert B. 2005. Suspended sediment sources and tributary effects in the lower reaches of a coastal plain stream as indicated by radionuclides, Loco Bayou, Texas. *Environmental Geology*. 47, 382–395.
- Yeloff, D, Labadz, J, Hunt, C, Higgitt, D, Foster, I. 2005. Blanket peat erosion and sediment yield in an upland reservoir catchment in the southern Pennines, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*. 30, 717-733.
- Yi C, Liu H, Rose N, Yang H, Ni L, Xie P. 2006. Sediment sources and the flood record from Wanghu lake, in the middle reaches of the Yangtze River. *Journal of Hydrology*. 329, 568-576.
- Yu Y, Song J, Duan L, Li X, Yuan H, Li N. 2014. Sedimentary trace-element records of natural and humaninduced environmental changes in the East China Sea. *J Paleolimnol*. 52, 277-292.
- Yu Y, Song J, Li X, Duan L. 2012. Geochemical records of decadal variations in terrestrial input and recent anthropogenic eutrophication in the Changjiang Estuary and its adjacent waters. *Applied Geochemistry*. 27, 1556-1566.
- Zalasiewicz J, Williams M, Smith A, Barry TL, Coe AL, Brown PR, Brenchley P, Cantrill D, Gale A, Gibbard P, Gregory FJ, Hounslow MW, Kerr AC, Pearson P, Knox R, Powell J, Waters C, Marshall J, Oates M, Rawson P, Stone P. 2008. Are we now living in the Anthropocene? *GSA Today*; 18(2), doi: 10.1130/GSAT01802A.1
- Zalasiewicz J, Williams M, Haywood A, Ellis M. 2011. The Anthropocene: a new epoch in geological time? *Phil. Trans. R. Soc; A* 369: 835-841.
- Zalasiewicz J, Waters CN, Wolfe AP, Barnosky AD, Cearreta A, Edgeworth M, Ellis EC, Fairchild IJ, Gradstein FM, Grinevald J, Haff P, Head MJ, Ivar od Sul JA, Jeandel C, Leinfelder R, McNeill JR, Oreskes N, Poirier C, Revkin A, Richter DB, Steffen W, Summerhayes C, Syvitsky, JPM, Vidas D, Wapreigh M, Wing S, Williams M. 2017. Making the case for a formal Antropocene epoch; an analysis of ongoing critiques. *Neswsletters on Stratigraphy*, 50(2): 205-226.
- Zézere JL, Trigo RM, Trigo IF. 2005. Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal). *Nat Hazards Earth Syst Sci*; 5:331–344

- Zhang S, Lu XX. 2009. Hydrological responses to precipitation variation and diverse human activities in a mountainous tributary of the lower Xijiang, China. *Catena*; 77: 130-142.
- Zhang X, Bai X, Liu X. 2011. Application of a ^{137}Cs fingerprinting technique for interpreting responses of sediment deposition of a karst depression to deforestation in the Guizhou Plateau, China. *Science China, Earth Sciences*. 54, 3, 431-437.
- Zhang Y, Gao X, Zhong Z, Deng X, Peng B. 2008. Comprehensive evaluation of heavy metal contamination of sediment in Lake Dianchi by using modified AHP method and ^{137}Cs dating. *Front. Environ. Sci. Engin. China*. 2, 3, 370-379.
- Zhang Y, Gao X, Zhong Z, Chen J, Peng B. 2009. Sediment accumulation of Dianchi Lake determined by ^{137}Cs dating. *J. Geogr. Sci.* 19, 225-238.
- Zhang E, Liu E, Jones R, Langdon P, Yang X, Shen J. 2010. A 150-year record of recent changes in human activity and eutrophication of Lake Wushan from the middle reach of the Yangze River, China. *J. Limnol.* 69, 2, 235-241.
- Zhang S, Lu XX, Higgitt DL, Cheng-Tung AC, Jingtai H, Huiguo S. 2008. Recent changes of water discharge and sediment load in the Zhujiang (Pearl River) Basin, China. *Global and Planetary Change*; 60: 365-380.
- Zhang G, Parker A, House A, Mai B, Li X, Kang Y, Wang Z. 2002. Sedimentary Records of DDT and HCH in the Pearl River Delta, South China. *Environ. Sci. Technol.* 36, 3671-3677.
- Zhang Y, Su Y, Liu Z, Chen X, Yu J, Di X, Jin M. 2015. Sediment lipid biomarkers record increased eutrophication in Lake Fuxian (China) during the past 150 years. *Journal of Great Lakes Research*. 41, 30-40.
- Zheng J, Liao H, Wu F, Yamada M, Fu P, Liu C, Wan G. 2008. Vertical distributions of $^{239+240}\text{Pu}$ activity and $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratio in sediment core of Lake Chenghai, SW China. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 275, 1, 37-42.
- Zheng J, Wu F, Yamada M, Liao H, Liu C, Wan G. 2008. Global fallout Pu recorded in lacustrine sediments in Lake Hongfeng, SW China. *Environmental Pollution*. 152, 314-321.
- Zhu L, Chen L, Li B, Li Y, Xia W, Li J. 2002. Environmental changes reflected by the lake sediments of the South Hongshan Lake, Northwest Tibet. *Science in China (Series D)*. 45, 5, 430-439.
- Ziegler AD, Sutherland RA, Giambelluca TW. 2000. Runoff generation and sediment production on unpaved roads, footpaths and agricultural land surfaces in northern Thailand. *Earth Surface Processes and Landforms*; 25: 519-534.
- Zimmerman A, Canuel E. 2002. Sediment geochemical records of eutrophication in the mesohaline Chesapeake Bay. *Limnology and Oceanography*, 47, 4, 1084-1093.
- Zuquette LV, Pejon OJ, Dantas-Ferreira M, Palma JB. 2009. Environmental degradation related to mining, urbanization and pollutant sources: Poços de Caldas, Brazil. *Bulletin of Engineering Geology Environment*; 68: 317-329.

RELACIÓN DE BASES DE DATOS UTILIZADAS

International Strategy for Disaster Reduction, UN (ISDR). Disponible en: <http://www.unisdr.org>

International Disaster Database (OFDA-CRED); Emergency Disaster Database (EM-DAT). Disponible en: <http://www.emdat.be>

Munich-RE. Disponible en: <http://www.munichre.com/en/homepage/default.aspx>

Swiss-Re. Disponible en: <http://www.swissre.com/publications/archive/>

Asian Disaster Reduction Center (ADRC). Disponible en: <http://www.adrc.asia>

Global Archive Large Flood Events, (DFO). Disponible en: <http://dartmouth.edu>

DesInventar. Disponible en: <http://online.desinventar.org>

Geologic Hazards Landslides; disponible en: <https://geohazards.usgs.gov>

National Landslide Information Center. Disponible en: <http://landslides.usgs.gov/nlic>

Global Historic Climatology Network (GHCN). Disponible en: <http://www.ncdc.noaa.gov/ghcnm>

International Research Institute for Climate Prediction / Lamont-Doherty Earth Observation at University of Columbia. Disponible en: <http://iridl.ldeo.columbia.edu>

NCEP Re-analysis Data. Disponible en: <http://dss.ucar.edu/pub/reanalysis/>

British Atmospheric Data Centre (BADC). Disponible en: <http://badc.nerc.ac.uk/home/index.html>

Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). Disponible en: <http://www.dwd.de/bvbw>

National Centre for Atmospheric Research (NCAR) Data Support System. Disponible en: <http://dss.ucar.edu>

Climatic Research Unit (CRU) data disponible en: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>

World Data Center - A. Meteorology Climate Diagnostics Centre at NOAA. Disponible en: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/wdc/index.php>

INDICE

Agradecimientos

Organización de esta memoria

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. La dimensión geomorfológica del cambio global	5
1.2. La “huella antropogeomorfológica”	6
1.3. Cambio geomorfológico global directo e indirecto	7
1.4. Frecuencia de procesos hidrogeomorfológicos peligrosos	9
1.5. El cambio geomorfológico global y el Antropoceno	12
1.6. Planteamiento del problema e hipótesis de trabajo	14
2. METODOLOGÍA	21
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1. Determinaciones de la variación temporal de las tasas de sedimentación.	31
3.1.1. Cuenca del Río de la Plata	31
3.1.2. Lagunas de la Pampa húmeda.	44
3.2. Síntesis regionales a partir de la literatura	99
3.2.1. China	104
3.2.2. India	129
3.2.3. Estados Unidos	147
3.2.4. Europa	179
3.2.5. Norte de España	243
3.2.6. Australia	257
3.2.7. Resumen de la síntesis a partir de la literatura	309
3.3. Análisis de las variaciones espaciales	323
3.3.1. Introducción	323
3.3.2. Metodología y datos	324
3.3.3. Resultados de las correlaciones	327
3.3.4. Análisis regionales	329
3.3.5. Síntesis general	332
3.4. Evolución de los desastres naturales	353
3.4.1. Antecedentes y planteamiento del problema	353
3.4.2. Metodología	354
3.4.3. Resultados y discusión	358
3.4.4. Conclusiones	367
4. RECAPITULACIÓN Y CONCLUSIONES	397
5. REFERENCIAS	423
9. Anexos	DVD

