



Máster Universitario en Técnicas de Análisis,
Evaluación y Gestión Sostenible de Procesos y Riesgos
Naturales.

Trabajo Fin de Máster

**Evolución temporal de la frecuencia,
magnitud y daños por inundaciones, e
identificación de los factores
determinantes**

Autor: Constantino García Gándara

Director: Antonio Cendrero Uceda

Julio 2013

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e
identificación de los factores determinantes.

ÍNDICE

RESUMEN

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA FRECUENCIA, MAGNITUD Y DAÑOS POR INUNDACIONES, E IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DETERMINANTES.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ¿Cambio geomorfológico global?.....	1
1.2. Antecedentes y planteamiento del problema	2
2. OBJETIVOS	7
3. METODOLOGÍA.....	8
4. FACTORES GENERALES RELACIONADOS CON LA FRECUENCIA Y DAÑOS POR INUNDACIONES EN LA PENÍNSULA IBÉRICA.....	8
4.1. Inundaciones	8
4.2. Precipitaciones	14
4.3. Población	14
4.4. Daños	16
4.5. Selección y descripción de las áreas de estudio.....	21
Cuenca del río Urumea.....	22
Cuenca del río Nora.....	22
5. TAREAS REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	23
Tarea 1. Las inundaciones en las cuencas de estudio.	23
Tarea 2. Las precipitaciones en las cuencas de estudio.	26
Tarea 3. La población y los usos del suelo en las cuencas de estudio.	29
Tarea 4. Los daños en las cuencas de estudio.....	31
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	32
7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	42
AGRADECIMIENTOS	44
Referencias Bibliográficas	45
Páginas web consultadas.....	48
ANEXOS	1
1. TABLAS.....	1
2. FIGURAS.....	14

RESUMEN

El presente trabajo trata de aportar evidencias adicionales que permitan contrastar la hipótesis del “cambio geomorfológico global (CGG)” y su posible influencia en la frecuencia/magnitud de los riesgos geomorfológicos. Para ello, se ha realizado un análisis de la evolución temporal de la frecuencia, magnitud y efectos de las inundaciones en España y su posible relación con los factores determinantes de las mismas. El periodo cubierto abarca desde inicio del siglo XX, aunque ciertas series de datos son bastante más cortas y solo cubren los últimos 50 años, y en ocasiones menos. Los factores considerados han sido, en cuanto a factores naturales, las precipitaciones (total anual e indicadores indirectos de la frecuencia de episodios de lluvias intensas) y, como factores debidos al ser humano, indicadores directos o indirectos del grado de modificación de las cuencas por éste (número de embalses, población, producto interno bruto, o cambios de uso del territorio). El análisis se ha llevado a cabo, por un lado, para el conjunto de la España peninsular y, por otro, para dos pequeñas cuencas del N de España (Urumea, Guipúzcoa y Nora, Asturias), en las que se ha hecho un análisis más detallado.

Se han realizado comparaciones y correlaciones (cuando los datos lo permiten) entre las distintas series de datos, con el fin de identificar posibles relaciones causa-efecto. Los resultados obtenidos indican, a grandes rasgos, que las tendencias de variación de las inundaciones son difícilmente explicables por las tendencias de las precipitaciones. Esa “no-relación” aparece como más definida a nivel nacional, pero presenta algunas dudas y aparentes contradicciones en el caso de las cuencas individuales. Por otro lado, las tendencias generales de variación de los indicadores de la influencia humana se ajustan mejor a las tendencias de variación de las inundaciones, aunque los datos hasta ahora utilizados no permiten establecer conclusiones firmes. En conjunto, los datos que se han podido obtener dentro del marco de este trabajo de fin de master (lógicamente, limitados), sugieren que el modelo del CGG puede ser válido en este ámbito, pero no permiten establecer conclusiones firmes y dejan bastantes interrogantes por resolver.

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA FRECUENCIA, MAGNITUD Y DAÑOS POR INUNDACIONES, E IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DETERMINANTES

1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Máster tiene una finalidad esencialmente científica, pero también, aunque de manera colateral, una vertiente aplicada de tipo profesional. Se plantea profundizar en el conocimiento de la evolución temporal de las inundaciones y de sus efectos a lo largo de aproximadamente el último siglo, así como en la comprensión de los factores (naturales y/o humanos) que determinan dicha evolución. Como consecuencia de lo anterior, se espera proporcionar herramientas o sugerencias para una mejor comprensión, previsión y gestión de este tipo de riesgos.

1.1. ¿Cambio geomorfológico global?

Diversos datos relativos a la modificación de la superficie terrestre indican que puede existir una relación causa-efecto entre la antropización del territorio y el aumento de las inundaciones. Dichos datos sugieren que el citado aumento se debe en mucha mayor medida a la acción humana sobre la capa superficial del terreno que al cambio de comportamiento en las precipitaciones. Algunos estudios recientes han podido establecer que se aprecian tendencias similares en el aumento de las actividades humanas y el incremento de los procesos geológicos superficiales y de los desastres naturales relacionados con ellos, como son las inundaciones y los deslizamientos.

Una posible explicación para el aumento de las inundaciones, es el llamado “cambio geomorfológico global” (Cendrero et al., 2005, 2006; Bonachea et al., 2010), un conjunto de modificaciones de origen humano que afectan a la superficie terrestre. La importancia de la acción humana en el desplazamiento de materiales geológicos se ha puesto de manifiesto por Brown (1956) en lo que llamó “denudación tecnológica”, y por (Rivas et al., 2006), que se refieren a la “huella geomorfológica humana” ($\text{m}^2 \text{pers}^{-1} \text{año}^{-1}$ de nuevas antropofomas construidas y $\text{m}^3 \text{pers}^{-1} \text{año}^{-1}$, de materiales geológicos desplazados), concepto inspirado en el de “huella ecológica humana” (Wackernagel y Rees, 1996), pero con significado diferente. Los datos de estos autores hacen pensar que dicha movilización puede ser en la actualidad un orden de magnitud superior a la debida a procesos naturales.

De acuerdo con Cendrero et al. (2006), la masiva alteración de la superficie terrestre puede ser el principal factor determinante del aumento, en un orden de magnitud, de los peligros naturales durante los últimos 50 años. Los cambios citados afectarían a la sensibilidad del medio (Brunsden y Thornes, 1979) y la resiliencia del terreno. Como posible explicación de lo anteriormente expuesto se ha formulado una hipótesis (Cendrero et al., 2006; Bonachea et al., 2010; Bruschi et al., 2012). El crecimiento del PIB (Producto Interior Bruto) daría lugar a un mayor grado de modificación de la superficie terrestre por diferentes tipos de actividades humanas, lo que alteraría el comportamiento de los procesos geomorfológicos y aumentaría la sensibilidad de la capa superficial a la acción de los agentes geológicos superficiales. El resultado neto sería una aceleración de los procesos geomorfológicos, que se manifestaría en una intensificación de la denudación y erosión, así como en la frecuencia de desastres debidos a procesos geológicos superficiales.

Si dicha hipótesis fuera correcta, debería encontrarse una correlación entre indicadores de la intensidad de la actividad humana e indicadores de la intensidad de los

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

procesos geológicos superficiales. Como indicador que puede sintetizar la intensidad de la actividad humana se ha propuesto el PIB, y también se han sugerido otros más directamente relacionados con la modificación del territorio, tales como consumo de energía, consumo de cemento, cambios de uso, etc. La intensidad de los procesos geomorfológicos puede expresarse por medio de indicadores tales como las tasas de generación de sedimento y de sedimentación, o bien la frecuencia de desastres debidos a procesos geológicos superficiales.

Naturalmente, los procesos geomorfológicos también se ven afectados por el cambio climático, a su vez debido en la actualidad sobre todo a la influencia humana. Tal como ha señalado Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero), principalmente pero no solo el CO₂, están determinando el aumento de la temperatura en la Tierra, que durante este siglo podría superar los 2°C (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la Fundación Ramón Areces, 2008). Ese calentamiento va acompañado de un aumento en la frecuencia de los episodios climáticos de tipo extremo, entre otros los episodios de lluvias intensas (IPCC, 2007), que representan un importante agente geomorfológico. Por tanto, hay que tener también presente la posibilidad de que el aumento de la frecuencia o intensidad de los episodios de lluvias intensas sea causa (¿mucho menor que, tan importante como, o mayor que la influencia humana sobre la superficie terrestre?) de los aumentos señalados por los autores anteriores en la erosión y otros indicadores de la intensidad de los procesos geomorfológicos.

El trabajo que se aborda aquí se sitúa dentro del marco anterior. Se intenta contrastar la validez del modelo brevemente descrito, a través del análisis de las posibles relaciones entre impulsores potenciales (actividad humana y precipitaciones) e indicadores de la intensidad de la “respuesta geomorfológica”, en cuencas seleccionadas de la Península Ibérica. Se intenta ver, por un lado, si de acuerdo con los citados indicadores, se aprecia que en las últimas décadas se haya producido en dichas cuencas una “aceleración geomorfológica” (Forte, 2011; Bruschi et al., 2012) que sería parte de la *Great Acceleration* (Steffen et al., 2011). Por otro lado, caso de que dicha aceleración exista, si la misma se debe sobre todo a factores relacionados con la alteración del territorio o bien a factores climáticos.

1. 2. Antecedentes y planteamiento del problema

El pasado siglo parece haber representado un punto de inflexión en la magnitud de las alteraciones de la naturaleza por parte de los seres humanos. En lo que se refiere a los rasgos abióticos eso se manifiesta, por ejemplo, en una creciente huella hídrica (Hoekstra, 2003), debida al uso de agua para la producción de bienes y servicios así como para su propio consumo. Esta perturbación a gran escala de los ciclos naturales del agua, acompañada de la perturbación del territorio, podría estar generando un efecto colateral, el aumento de eventos catastróficos como las inundaciones.

Pero los efectos sobre el medio abiótico se manifiestan también en los procesos geológicos. Lo que antiguamente se producía por efecto del clima o de las fuerzas internas de la Tierra, parece seguir ahora una tendencia diferente. En la actualidad, no solo el agua, el viento o la tectónica terrestre, son los determinantes de los cambios del relieve, sino que la especie humana se vislumbra como uno de los principales factores, o incluso el factor más importante, en la generación de las nuevas formas que se observan en el territorio, y en el funcionamiento de los procesos relacionados con dichos cambios. Esta evolución que sufre la superficie del planeta viene siendo señalada hace tiempo (Marsh, 1877; Thomas, 1956; Dunne y Leopold, 1978; Goudie, 1995) y en tiempos recientes ha dado lugar a que se proponga la definición de una nueva época

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

geológica denominada Antropoceno (Crutzen, 2002) caracterizada por los cambios producidos por la especie humana, entre ellos el cambio geomorfológico global (Hurtado et al., 2012) y una serie de efectos colaterales del mismo, tales como el aumento del número de desastres naturales, especialmente de las inundaciones y los deslizamientos de tierras. Estas modificaciones del terreno, debidas en gran medida a los cambios en el uso del suelo, han generado a medida que aumentaba la población mundial una variación de la sensibilidad del medio (Brunsdén, 2001) conformando un sistema inestable frente a los principales factores climáticos condicionantes del relieve, como las precipitaciones intensas y/o continuadas, ampliando sus efectos y desencadenando en muchos casos inundaciones.

Diversos autores han analizado las consecuencias derivadas de los cambios de uso del suelo (Tucci y Clarke, 1998; Saurral et al., 2008; Peng et al., 2010; Forte, 2011) y de sus efectos sobre procesos peligrosos para la población humana. Otros han centrado su interés en las consecuencias para las tasas de erosión/sedimentación, y los resultados apuntan a que el aumento de éstas se debe esencialmente a la acción antrópica (Fuller et al., 1999; Godoy et al., 2002; San Miguel et al., 2004; Sarubbi et al., 2004, 2006; Syvitski et al., 2005; Bonachea et al., 2010; Bruschi et al., 2012). El potencial del ser humano para alterar los procesos de erosión-sedimentación (Trimble, 1997; Judson, 1983; Hooke, 1999; Slaymaker, 2009 y Remondo et al., 2005b) se ha venido incrementando, como es lógico, con la evolución social del ser humano y el consiguiente aumento de su capacidad económica y tecnológica.

Especialmente durante el último siglo, se ha producido un fuerte aumento de la población humana, acompañada por urbanización, construcción de infraestructuras, excavaciones mineras, cambios en la cobertura vegetal, etc., que han provocado una alteración considerable del ciclo hidrológico y de los balances sedimentarios naturales (Poulos y Collins, 2002; Rivas et al., 2006; Graf, 2006; Magilligan y Nislowb, 2006; Xu y Milliman, 2009; Stevaux et al., 2009a; Yang et al., 2011). Esto, entre otros factores, parece haber contribuido a aumentar la exposición del ser humano a los peligros naturales, en concreto al peligro por inundación, para el cual la morfología del terreno, la cobertura y los procesos de erosión-sedimentación tienen un papel determinante.

Los desastres naturales producidos por inundaciones se han incrementado en los últimos años provocando el aumento de víctimas mortales y un gran impacto económico sobre las zonas afectadas. Desde 1900 hasta la actualidad, las víctimas mortales provocadas por inundaciones, a nivel mundial, se aproximan a los siete millones y las pérdidas económicas se estiman en medio billón de euros (EM-DAT (Emergency Database), 2013). Es importante señalar que el 2,7% de las pérdidas económicas totales corresponden únicamente al 2011 (Swiss Re, 2013). En España las inundaciones han causado desde 1900 hasta 2012 unas pérdidas económicas de 6.507×10^6 €, el 1.5% del total mundial para este periodo (EM-DAT, 2013), de los cuales 4.877×10^6 € corresponderían al periodo 1971-2011 (CCS, 2012). En la Península Ibérica las mayores indemnizaciones del siglo pasado se producen durante la década de los 80, las cuales representan el 25% del total desde el año 1900 hasta 2011, siendo en ese caso el País Vasco la zona más afectada (CCS, 2012). El precio de los bienes, sobre todo la vivienda, se ha multiplicado por 7.1 en el periodo 1971-2008 y ello ha tenido una repercusión directa sobre las indemnizaciones, que se han incrementado para el mismo periodo unas 7.9 veces (Barredo et al., 2012).

Hay varios factores que podrían explicar los aumentos indicados. Uno es la mayor exposición de la población (aumento de la población y de los elementos materiales que pueden sufrir daños), posiblemente acentuada por una ineficaz gestión del territorio, que no incorpore debidamente la consideración de los riesgos naturales;

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

otro es un posible incremento de los peligros naturales (frecuencia o magnitud de los episodios peligrosos), a su vez debido bien a la acción del ser humano sobre la superficie terrestre, o bien a variaciones climáticas (en gran parte debidas también a influencia humana); finalmente, también hay que tener presente que los aumentos sean en parte aparentes y reflejen una más completa recopilación de eventos en los tiempos recientes. Según se aprecia, la mayor parte de esos factores tienen una estrecha relación con la actividad humana y apuntan a que en la actualidad estamos ante un sistema natural antropizado y desequilibrado (Steffen et al., 2007) que podría desestabilizarse aún más en el próximo futuro.

Es frecuente ver análisis científicos (p. ej., Steffen et al., 2011); informes de organizaciones internacionales o artículos periodísticos que señalan al cambio climático como el causante del fuerte aumento registrado en el aumento de los desastres debidos a inundaciones pero, de acuerdo con lo comentado más arriba, esta explicación no parece del todo satisfactoria. Hay incluso autores que dudan del efecto perturbador del ser humano sobre el clima (Bouwer, 2011), sus repercusiones en los desastres naturales y su relación directa con el incremento de los daños producidos.

Parece bien establecido que el actual aumento de la temperatura se debe a la emisión de gases de efecto invernadero y a los cambios de uso del territorio, sobre todo la deforestación y la extensión de las actividades agrícolas (IPCC, 2007). Ese calentamiento global se refleja también, si bien de manera más irregular y con tendencias menos definidas, en las precipitaciones, dando lugar a un aumento de la frecuencia de los episodios climáticos extremos, incluyendo las lluvias intensas (IPCC, 2007). Por tanto, hay que tener presente que ese efecto humano sobre el clima podría ser un factor que influya en la aceleración de los procesos geológicos superficiales, si bien la intervención humana sobre el territorio, con sus efectos sobre la sensibilidad de la capa superficial y sobre el desarrollo de los procesos geomorfológicos, parece ser la causa determinante de las tendencias observadas y que afectan a los deslizamientos, las inundaciones, o la generación y acumulación de sedimentos (Judson, 1983; Hooke, 1999; Owens & Walling, 2002; Gellis et al., 2004; Ruiz Fernández et al., 2005; Ramos-Scharrón y Mc Donald, 2007; Slaymaker, 2009; Bonachea et al., 2010; Bruschi et al., 2012).

Es lógico esperar que la variación observada en la frecuencia de las inundaciones esté condicionada en gran medida por las modificaciones del territorio. Las precipitaciones ahora se encuentran con una morfología alterada por el ser humano, donde se han eliminado elementos de sujeción del terreno y se han construido canalizaciones y barreras artificiales. Los efectos de los cambios en el uso del suelo han hecho desaparecer la masa forestal en pro de las tierras de cultivo y la urbanización, alterando así la escorrentía superficial, los tiempos de escurrimiento, la magnitud de los picos de crecida y la respuesta del medio para encauzar el flujo hídrico (Jun Tu et al., 2005; Brath et al., 2006; Wheeler y Evans, 2009; Petrow y Merz, 2009; Herget y Meurs, 2010). Los efectos de los procesos de desarrollo urbano y otras actividades humanas sobre el equilibrio natural de los sistemas hídricos y otros procesos geológicos superficiales se han señalado por parte de distintos autores (Wolman y Schick, 1967; Cendrero y Douglas, 1996; Trimble, 1997; Remondo et al., 2005a; Rivas et al., 2006; Stevaux, 2009b; Forstall et al., 2009). Entre los efectos descritos en los trabajos anteriores se encuentran, el aumento de la escorrentía, la interrupción o desviación de los flujos de agua, la alteración del balance sedimentario (normalmente incrementando la generación de sedimento), el aumento en la frecuencia de los deslizamientos y del volumen movilizado por los mismos, etc. Todo ello provoca un aumento de la susceptibilidad del territorio, especialmente en las áreas urbanizadas, a los peligros

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

naturales debidos a procesos hidromorfológicos. Además, los efectos de posibles eventos catastróficos se ven incrementados debido a que gran parte de las zonas urbanizadas se encuentran en áreas como las llanuras de inundación y litorales, donde vive la mayor parte de la población mundial.

De acuerdo con los datos recogidos en las bases de EM-DAT (2013) en los últimos años ha habido un incremento importante en el número de desastres debidos a los procesos citados, especialmente en muchos países en vías de desarrollo. Esto seguramente se debe en parte al aumento de la población en zonas expuestas, pero posiblemente también a un aumento en la frecuencia o magnitud de los episodios naturales peligrosos. Para contribuir a paliar esta situación, la 4ª Conferencia Internacional sobre Desastres y Riesgos, celebrada en Davos por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2012) ha desarrollado una hoja de ruta encaminada a aumentar la resiliencia de las ciudades que pueden verse afectadas por estos desastres.

Tal como han señalado Brierly y Stankoviansky (2003) existen incertidumbres sobre si el aumento de los procesos de erosión-sedimentación es debido al cambio climático o al ser humano, y lo mismo es aplicable al aumento de las inundaciones o de los deslizamientos de tierras. Los resultados obtenidos en tiempos recientes por Bonachea et al. (2010), Forte (2011) y Bruschi et al. (2012) apuntan a que el cambio geomorfológico global es el principal factor determinante de las tendencias observadas, pero esto es algo que debe ser confirmado a través de análisis adicionales, por ejemplo a partir del análisis de datos históricos sobre inundaciones (Bayliss & Reed, 2001), que han demostrado ser útiles para establecer los factores determinantes de los episodios y para evaluar el riesgo de inundación.

A partir de los antecedentes descritos, se puede considerar plausible que existe una intensificación de los procesos geomorfológicos que, de alguna manera, está condicionada por la intensificación de las actividades humanas. Es decir, que hay evidencias que apoyan la hipótesis del “cambio geomorfológico global”. Ahora bien, esas evidencias no parecen suficientes para considerar dicha hipótesis como fuertemente asentada, y es deseable obtener datos adicionales que ayuden a dilucidar, por un lado, si el modelo indicado es válido a nivel general y, por otro lado, hasta qué punto es aplicable al caso concreto de las inundaciones, que es el que se aborda en el presente trabajo.

En primer lugar, es necesario disponer de más información sobre la que seguramente es la expresión más generalizada de una posible intensificación de los procesos geológicos superficiales, la generación de sedimento y las correspondientes tasas de sedimentación. Aunque los datos apuntan en ese sentido, no está claro que la generación/acumulación de sedimento esté aumentando a nivel global, ni tampoco cual sería la magnitud de ese aumento. Los trabajos reseñados (Bonachea et al., 2010; Bruschi et al., 2012) indican que en distintas cuencas las tasas de sedimentación se han multiplicado por factores de 4-10 en menos de un siglo, siendo este aumento especialmente acusado en los últimos 50 años. Por otro lado, Syvitski et al. (2005) han estimado aumentos bastante menores para las tasas de generación de sedimentos en un número elevado de cuencas fluviales del planeta, entre lo que sería el pre-Antropoceno y el Antropoceno, lo que es una aparente contradicción. Ahora bien, el Antropoceno incluye para estos autores desde el inicio de la revolución industrial, mientras que las tasas de sedimentación de los otros autores citados son las correspondientes a tiempos más recientes, esencialmente a partir de mediados del siglo XX. Por otro lado, las tasas de generación de sedimento y las tasas de sedimentación no son lo mismo. En general, parte del sedimento que se genera en una cuenca puede quedar retenido tiempo

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

considerable en lugares anteriores a la zona de sedimentación correspondiente (lago, estuario, embalse). En concreto, dado que a lo largo del último medio siglo se han construido presas en muchos ríos del mundo, la cantidad de sedimento que llega a las desembocaduras se ha reducido, sin que eso quiera decir que la denudación en las cuencas haya disminuido. Es más, de acuerdo con los resultados presentados por Syvitski et al., (2007), se constata un aumento de las tasas de producción de sedimento y una reducción de los aportes a los océanos, atribuible a la existencia de embalses. Esto es algo similar a lo que ocurre con las inundaciones; la disminución de la frecuencia de las mismas como consecuencia de la construcción de presas no quiere decir que disminuyan los episodios de alta escorrentía aguas arriba de los embalses.

Por tanto, para profundizar en el análisis de este tema, sería preciso disponer de un número importante de determinaciones de tasas de sedimentación en distintos lugares del mundo. En el caso de que el aumento citado de las tasas de denudación y sedimentación fuera cierto, sería preciso determinar los factores determinantes de dicho aumento. Por ello, si la resolución de los distintos tipos de datos lo permitiera, se debería explorar si existen correlaciones, a lo largo del tiempo, de las tasas de generación de sedimento y las tasas de sedimentación, con impulsores tales como las lluvias o algunos indicadores de la intensidad de la acción humana sobre el territorio. También sería de interés tratar de ver si, a nivel espacial y para los tiempos más recientes que sea posible, hay correlación entre las tasas de generación de sedimento/tasas de sedimentación y medidas de la intensidad de las actividades humanas, tales como “la human geomorphic pressure” de Bonachea et al. (2010). En el mismo sentido, es preciso hacer análisis detallados de las posibles relaciones entre las variables indicadas en cuencas fluviales individuales, de dimensiones que hagan dichos análisis abordables, y al mismo tiempo sean suficientemente significativas y útiles para extrapolaciones a nivel global. Se trataría, a través de lo anterior, de determinar si a las tendencias de aumento de distintos indicadores de la intensidad de la actividad humana y de sus efectos sobre el medio, observadas durante los últimos 50 años (Steffen, 2011) en lo que se ha denominado “The Great Acceleration” (Hibbard, et al., 2006) se les ha de añadir una dimensión geomorfológica, relativa a la aceleración de la erosión/sedimentación. Este tipo de análisis excede el ámbito de este trabajo de fin de máster.

En lo que se refiere al aumento de los desastres naturales debidos a procesos geológicos superficiales, especialmente a las inundaciones, que son el objeto central de este trabajo, también hay ciertas cuestiones por dilucidar. En primer lugar, se deberá confirmar si el aumento que a nivel continental y global han puesto de manifiesto Forte (2011) y Hurtado et al. (2012) corresponde realmente a una mayor frecuencia/magnitud de los episodios peligrosos o es un aumento aparente, debido a mejoras en la recopilación de datos o al aumento de la exposición humana. Además, es preciso analizar con detalle las posibles correlaciones entre frecuencia/magnitud de los desastres y distintos factores causantes o condicionantes de los mismos, con el fin de establecer en qué medida la mayor frecuencia de desastres (si esta se confirma) se debe a variaciones en las precipitaciones (consecuencia del cambio climático), o bien a modificaciones del territorio. Para ello, puede ser de especial utilidad el estudio de cuencas fluviales en las que se puedan obtener datos adecuados sobre las distintas variables que intervienen en el proceso, tanto la variable dependiente (frecuencia y magnitud de los eventos), como las posibles variables independientes (precipitación total, frecuencia e intensidad de episodios de lluvias intensas, precipitación antecedente, grado de ocupación del territorio, cambios en la cobertura vegetal, indicadores de la intensidad de las actividades humanas, etc.).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Aunque este sea un punto de carácter marginal dentro del análisis que se aborda en este trabajo, determinar si a partir de mediados del siglo XX, coincidiendo con la Gran Aceleración, verdaderamente hay un incremento marcado de los procesos de erosión/sedimentación y de la frecuencia de los desastres de tipo hidromorfológico (en especial las inundaciones), proporcionaría un argumento a favor de la propuesta de considerar esa fecha como el inicio del Antropoceno (Hurtado et al., 2012), bastante diferente a fechas como la propuesta por Crutzen (2002), y todavía más por Ter-Stepanian (1988) para el “Quinario”, o Balter (2013), que abogan por un Antropoceno que se iniciaría desde hace miles de años, coincidiendo con el comienzo del Holoceno.

2. OBJETIVOS

Sobre la base de lo expuesto anteriormente, el **objetivo general** de este trabajo es contribuir a dilucidar si la hipótesis del “cambio geomorfológico global” es o no válida, a través de la obtención de nuevos datos por medio de la realización de análisis diferentes de los que hasta ahora se han utilizado para formular y evaluar la misma. Esos análisis se centrarán en el estudio de la variación temporal de las inundaciones en cuencas seleccionadas de la Península Ibérica, así como en sus relaciones con posibles factores causantes de las mismas.

Ese objetivo general se intenta lograr a través de la consecución de los siguientes **objetivos específicos**.

1. Determinar si, en los últimos 50-100 años y en cuencas fluviales españolas de tamaño pequeño-medio, ha habido aumento de la frecuencia/magnitud de los desastres por inundaciones, y su posible relación con la ocurrencia de estas (o bien si intervienen otros factores), a partir de series temporales de datos con las fechas de las inundaciones, caudales de las mismas, zonas afectadas y daños producidos.
2. Determinar si existe correlación entre la frecuencia/magnitud de las inundaciones y el régimen de precipitaciones (tendencia de variación en la precipitación total anual y los episodios de lluvias intensas) en las cuencas de estudio, que puedan explicar las tendencias de cambio que se determinen en la frecuencia de las inundaciones, a partir de series temporales de datos sobre precipitaciones, identificando los episodios de lluvias intensas, magnitud de estas y lluvia antecedente, así como comparaciones de tendencias y correlaciones estadísticas entre precipitaciones e inundaciones.
3. Determinar el grado de antropización, es decir, el grado en el que ser humano ha modificado el territorio en la zona de estudio y su evolución durante el período de estudio a partir de cartografía seriada de la distribución de usos del territorio y tablas numéricas con expresión de la extensión de los distintos usos en los periodos analizados y series temporales de datos sobre indicadores relacionados con la intensidad de las actividades humanas en las cuencas analizadas (población y cambios de usos del suelo).
4. Determinar si existe correlación entre el posible aumento de las inundaciones y las modificaciones producidas en el territorio de las cuencas por distintas actividades humanas, e identificar las que puedan estar contribuyendo en mayor medida a los efectos observados a partir de la comparación de tendencias y correlaciones estadísticas entre los distintos indicadores de la actividad humana analizados y la frecuencia/magnitud de inundaciones y daños producidos.
5. Identificar, a la luz de los resultados obtenidos en los objetivos anteriores, los factores que mejor expliquen las variaciones en los procesos de inundación que hayan podido afectar a las cuencas estudiadas y, en consecuencia, tratar de

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

establecer las contribuciones relativas de los factores climáticos y los de tipo humano a partir de la interpretación de los resultados obtenidos para los objetivos anteriores, discusión de los mismos, conclusiones obtenidas y propuestas de futuras líneas de trabajo que puedan ayudar a profundizar sobre el problema.

3. METODOLOGÍA

El abordaje metodológico general es simple y se basa en el modelo Fuerza motriz–Presión–Estado–Impacto–Respuesta. Aceptando como punto de partida que dicho modelo podría explicar la cadena de relaciones causa-efecto que ligan el aumento de las actividades humanas y la respuesta geomorfológica (Cendrero et al., 2006, Bonachea et al, 2010), se ha tratado de obtener datos sobre indicadores de los distintos eslabones de esa cadena, y analizar la existencia o no de correlaciones entre ellos que permitan determinar si los nuevos datos apoyan o no la idea de dichas relaciones causa-efecto. Para ello se ha llevado a cabo, en primer lugar, un análisis a nivel nacional, y posteriormente se han seleccionado dos pequeñas cuencas para un análisis más detallado, ambas en el N de España.

Se han obtenido datos sobre la frecuencia y magnitud de las inundaciones, las precipitaciones, la población y los usos del territorio, y los daños registrados. Se han realizado correlaciones entre las distintas variables (cuando la naturaleza y resolución de los datos lo han permitido) y comparaciones de las tendencias de variación temporal de las mismas, a fin de identificar y evaluar posibles relaciones causa-efecto. A continuación se presentan los resultados relativos a las distintas variables recopiladas. En la discusión general se analizan las comparaciones y correlaciones llevadas a cabo.

La cartografía se ha elaborado mediante herramientas SIG utilizando ArcGis, en el cual se han delimitado las zonas de estudio y se han elaborado modelos digitales del terreno con un tamaño de celda de 25x25 m. Se han empleado los datos del Instituto Nacional de Estadística (en adelante INE), la BCN25 Y BTN25 del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2013), ortofotoimágenes de la Infraestructura de Datos Espaciales de Euskadi (IDE de Euskadi, 2013) y datos del SIA (Sistema Integrado del Agua) (MAGRAMA, 2013) y de la Sociedad Nacional de Presas y Embalses (en adelante SEPREM) (www.seprems.es). Se han usado las coordenadas del Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989 (ETRS89).

4. FACTORES GENERALES RELACIONADOS CON LA FRECUENCIA Y DAÑOS POR INUNDACIONES EN LA PENÍNSULA IBÉRICA.

De acuerdo con los objetivos expresados y como paso previo que ayude a seleccionar cuencas de estudio en las cuales verificar la hipótesis formulada, se pasa revista a continuación a la evolución histórica de las inundaciones en la Península Ibérica y de ciertos factores que pueden influir en la frecuencia de las mismas y los daños que causan. El análisis que sigue se ha basado en los datos sobre inundaciones del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH), 2011 elaborado por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (en adelante DGPC), las bases de datos de la Agencia Estatal de Meteorología (en adelante AEMET) (www.aemet.es), del Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) (www.consorseguros.es), así como del INE (www.ine.es), y se ha realizado por cuencas y por provincias.

4.1. Inundaciones

La figura 1 muestra la frecuencia de inundaciones en la Península Ibérica desde que se tienen datos (DGPC, 2011). Se observa una clara tendencia alcista, si bien es de

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

esperar que la calidad y fiabilidad de los datos registrados disminuya a medida que vamos hacia tiempos más antiguos, por lo que el aumento real probablemente será algo menor. Si se analiza la evolución por cuencas (figura 2), la imagen de conjunto es bastante similar. Por otra parte, el análisis de la evolución a lo largo del siglo XX (periodo en el cual la recogida de datos ha sido presumiblemente bastante completa) no muestra en general tendencias de variación bien definidas, salvo en los casos de las cuencas Norte y Guadiana (y, en menor medida, Ebro y Júcar), con aumentos hacia finales del siglo XX o inicios del XXI (figura 3).

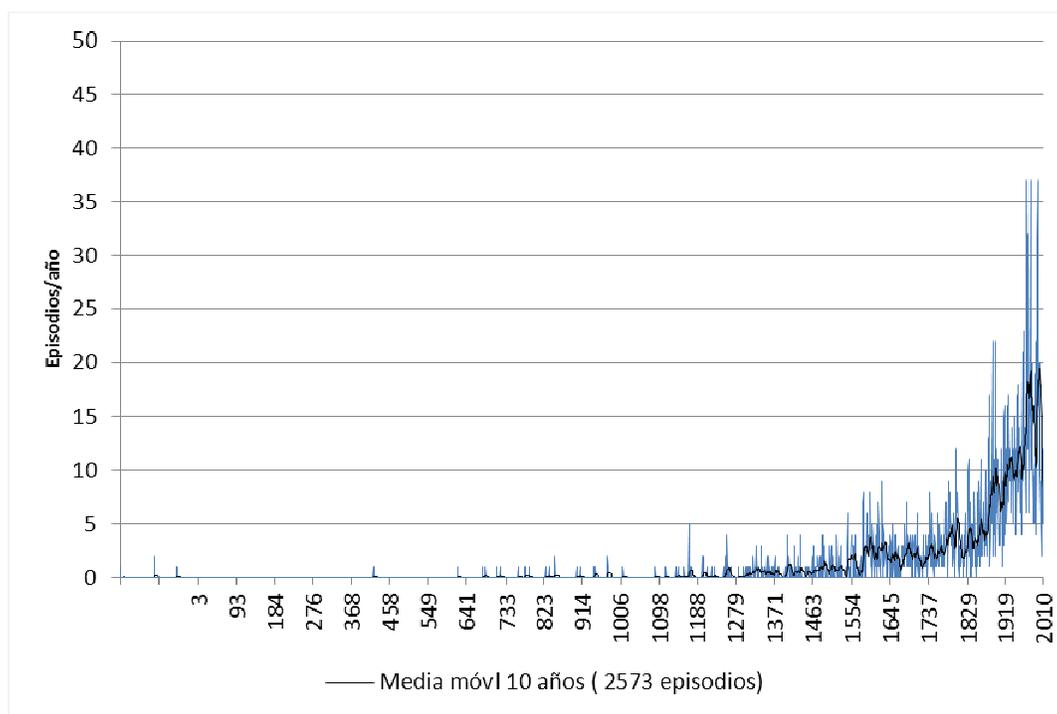


Figura 1. Frecuencia de las inundaciones en España según los datos recogidos en el Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (CNIH) a partir de los episodios de cada cauce y cada cuenca, para el periodo 181 AC-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

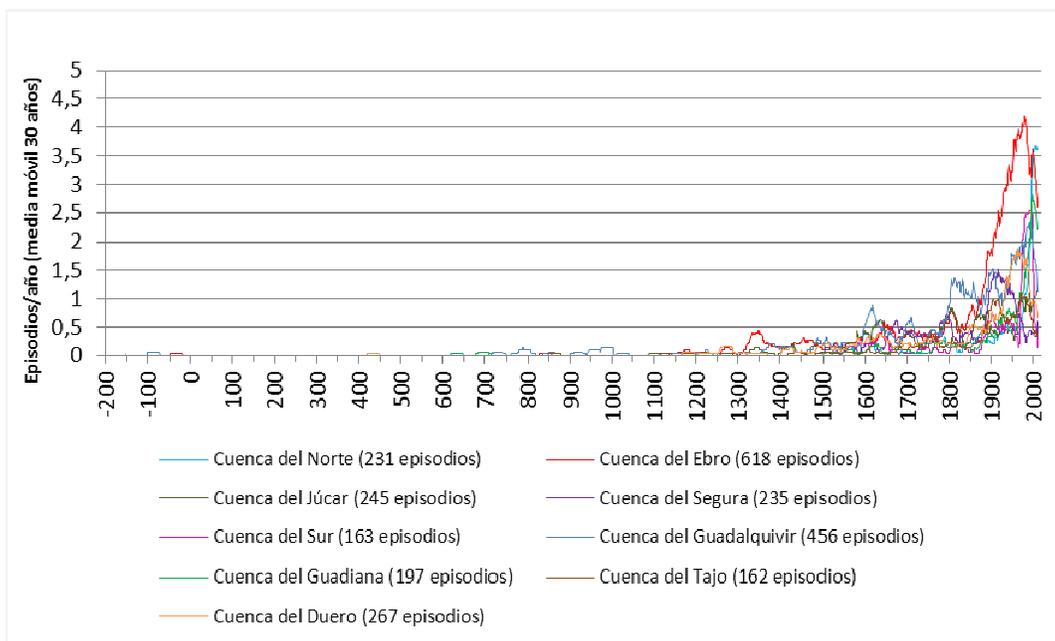


Figura 2. Frecuencia de inundaciones históricas en las cuencas hidrográficas españolas entre 181 AC-2010 a partir de datos de diferentes cauces (30 años media móvil). Fuente: CNIH (DGPC, 2011).

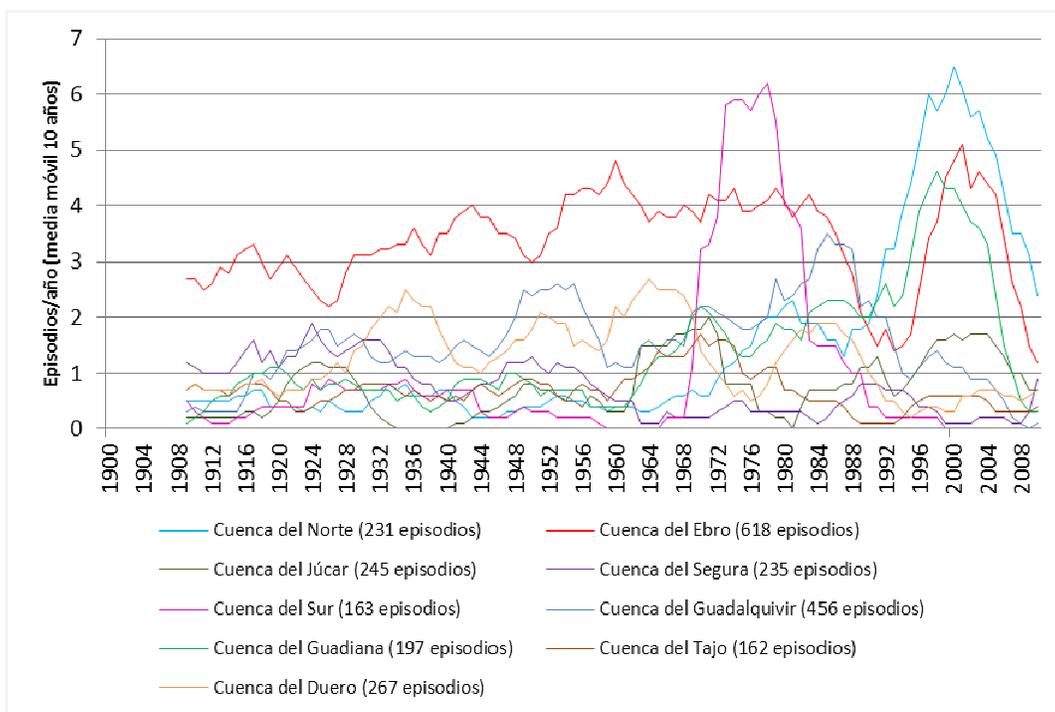


Figura 3. Frecuencia de inundaciones históricas en las cuencas hidrográficas españolas entre 1900-2010 a partir de datos de diferentes cauces. Fuente: CNIH (DGPC, 2011).

Un factor a tener muy presente en relación con la frecuencia de inundaciones es la presencia de presas y embalses. La construcción de presas se lleva a cabo, en parte, para reducir el problema de las inundaciones. Esto es, a igualdad de otros factores, un aumento en el número de embalses debería dar lugar a una disminución de la frecuencia de las inundaciones. Sin embargo, de acuerdo con lo que se muestra en la figura 4, el aumento del número de embalses registrado en el conjunto de la Península Ibérica,

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

especialmente a partir de 1950, no ha producido una reducción de la frecuencia de las inundaciones, sino que esta ha aumentado de manera apreciable.

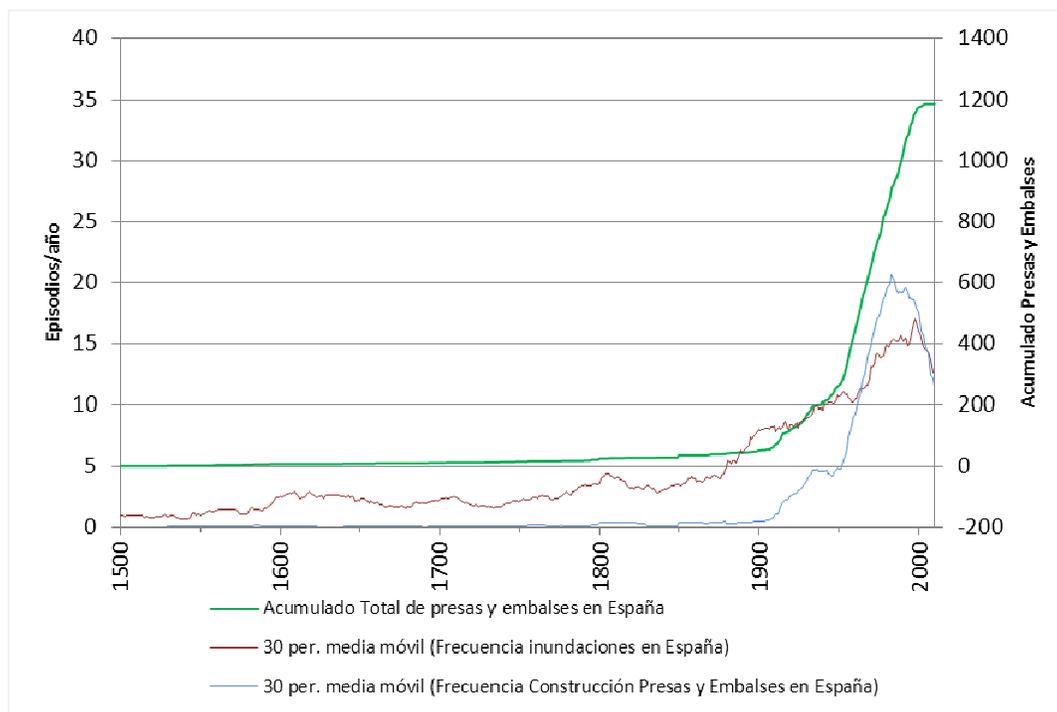


Figura 4. Relación entre inundaciones y embalses construidos en España hasta 2010. Eje izquierdo: frecuencia de inundación en España (media móvil 30 años). Eje derecho: número de embalses/año construidos y número total acumulado. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011);SEPREM (2013).

Si se analiza la evolución para las grandes cuencas (Figs. 1.A – 1.I (Anexo)), se aprecia que en la primera mitad del siglo XX hay una tendencia al aumento en las del Guadalquivir, Ebro y Duero, estabilidad en la del Segura y disminución en las del Tajo, Gadiana, Júcar, Norte y Sur. En ninguno de los casos las variaciones son muy marcadas. Comparando la segunda mitad del siglo XX con la primera, se observa que el promedio de las inundaciones en el conjunto del segundo periodo ha experimentado un aumento en las cuencas Norte, Gadiana, Júcar, Sur y Ebro (en algunos casos, poco definido), disminuciones en las de Duero, Guadalquivir y Segura (en los tres casos, leves) y no hay diferencia significativa en la del Tajo. En todas las cuencas hubo un aumento muy importante del número de embalses a partir de los años cincuenta. Esto es, aunque con diferencias entre cuencas, el aumento del número de embalses no parece haber dado lugar a una reducción significativa de las inundaciones en casi ninguna cuenca. Esto se ve corroborado por las correlaciones que se muestran en la figura 5.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

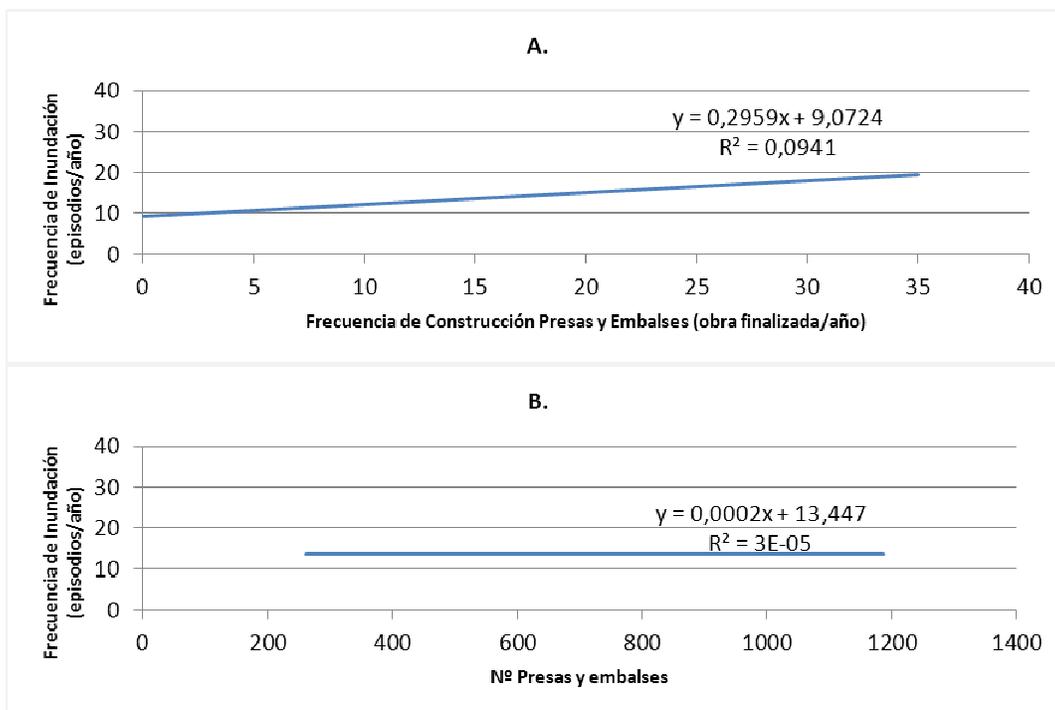


Figura 5. Correlación entre la frecuencia de inundación y la frecuencia de construcción (A), y el número de presas y embalses construidos (B) entre los años 1950 y 2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); SEPREM (2013).

Los datos anteriores sugieren que los episodios de escorrentía intensa han debido aumentar con el tiempo, pues a pesar del aumento generalizado del número de embalses (uno de cuyos efectos bien conocidos es la laminación y mitigación de avenidas), prácticamente en todas las cuencas la frecuencia de las inundaciones ha aumentado en las décadas más recientes, en algunos casos de manera notable. El aumento de esos episodios de gran escorrentía solo puede deberse a dos causas, aumento de los episodios de precipitaciones intensas o aumento del porcentaje de la precipitación que discurre sobre el terreno, como consecuencia de modificaciones en la cuenca.

También resulta interesante considerar la frecuencia de inundaciones en los ríos con mayor número de episodios registrados. La figura 2 (Anexo) muestra los datos desde 181A.C. hasta 2010 y la figura 3 (Anexo) para los periodos a partir de 1900 y a partir de 1950. En la tabla 1 (Anexo) se muestran las medias anuales para los tres periodos citados. Según se aprecia a partir de las figuras 1, 2 y 3 (Anexo) y de la tabla 1 (Anexo), el número de episodios anuales aumenta en casi todos los ríos a medida que consideramos periodos más recientes, si bien esa tendencia no está bien definida en todos los casos para periodos recientes (Fig. 6 B, C). El aumento es especialmente acusado en ríos como el Guadiana, Miño y Cea. La observación de la tabla 1 (Anexo) revela que en 8 ríos se produjo una clara disminución (factor de aumento <0,9), en 7 no hubo variaciones significativas (factor de aumento 0,9-1,10), y en 28 hubo aumentos, en algunos casos muy acusados (factor de aumento >1,10). Una imagen similar de las tendencias se obtiene a partir de los datos por provincias (Fig. 4 (Anexo) y Tablas 2 y 3 (Anexo)). En este caso el desequilibrio es todavía más acusado; 34 provincias presentan factores de aumento >1,10, mientras que solo 9 tienen valores 0,9-1,10 y otras 3 muestran factores <0,9.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

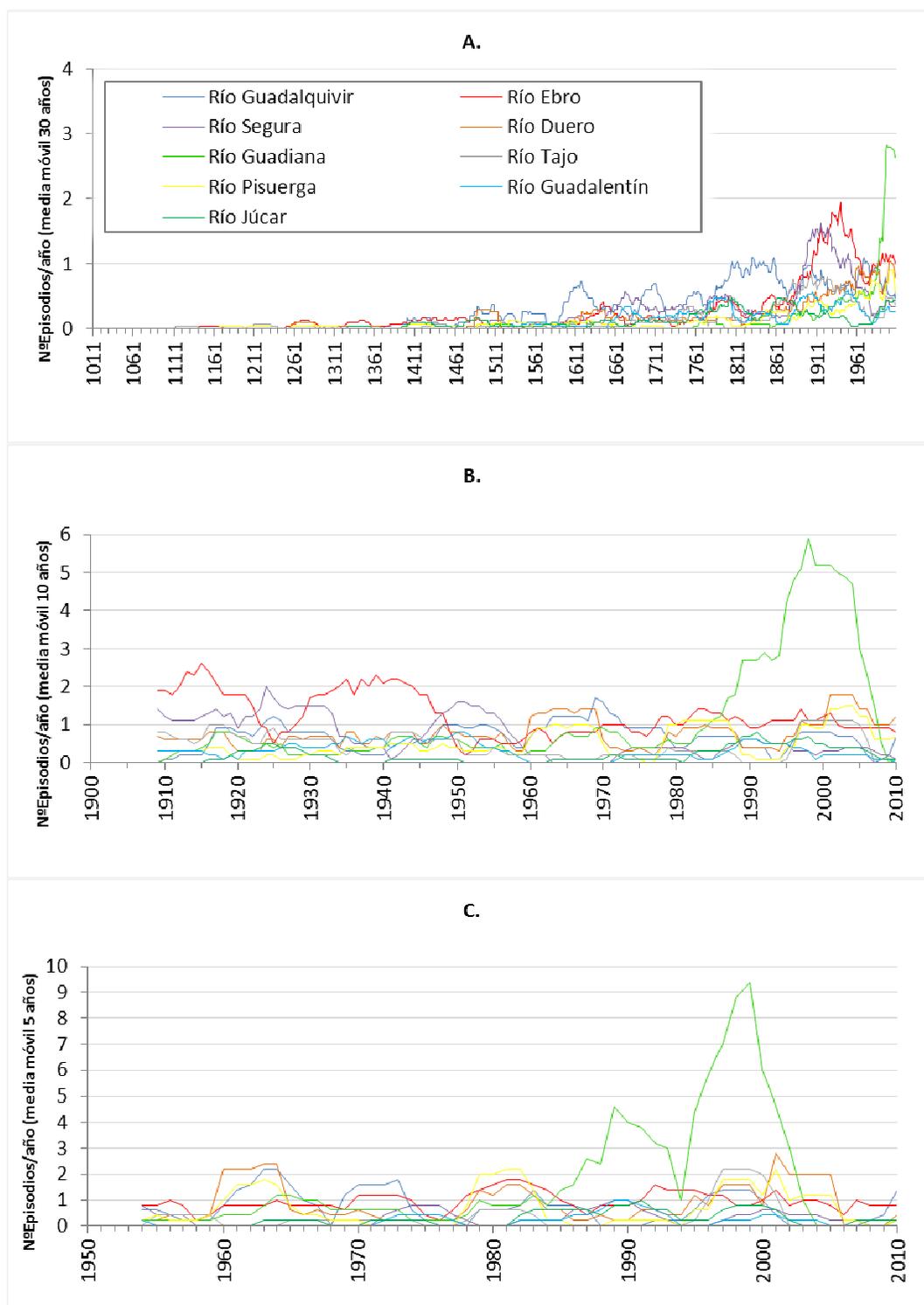


Figura 6. Frecuencia de las inundaciones producidas en los ríos españoles con mayor número de episodios registrados. Se observa que la tendencia general es creciente a partir del siglo XX. A) Media móvil de 30 años para el periodo 181 a.C.-2010. B) Media móvil 10 años para el periodo 1900-2010. C) Media móvil 5 años para el periodo 1950-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011).

4.2. Precipitaciones

En la Península Ibérica existen muy diferentes tipos de clima, tal como se muestra en la figura 5 (Anexo) (AEMET, 2013a), que utiliza la clasificación de Köppen-Geiger (1936) y sus actualizaciones presentes (Essenwanger, 2001; Kottek et al., 2006), basada en los valores medios mensuales de precipitación y temperatura para 1971-2000.

Las precipitaciones en las distintas cuencas hidrográficas de la Península Ibérica muestran una amplia variabilidad (Figura 6 (Anexo)), desde >1400 mm/año en el País Vasco a <400 mm/año en el Segura. De acuerdo con los datos proporcionados por el modelo SIMPA (Simulación Precipitación-Aportación) desarrollado por CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), para el Sistema Integrado de Información del Agua (SIA) (MAGRAMA, 2013), la precipitación media anual durante 1940-2010 muestra una tendencia decreciente en casi todas las cuencas, especialmente a partir de 1960 (Figs. 7.A - 7.I (Anexo)). En la mayoría de las cuencas se observa un cierto paralelismo entre la precipitación total anual y la frecuencia de las inundaciones (en el conjunto de la cuenca o en el río principal), pero en otros casos (cuencas Norte, Guadiana y Júcar) el decrecimiento de las precipitaciones en la segunda mitad del periodo coincide con un aumento de las inundaciones.

No obstante, más significativas que las precipitaciones totales son las frecuencias anuales de episodios de lluvias intensas. No se han podido obtener, de momento, los datos de precipitaciones diarias para los observatorios de las distintas cuencas, pero sí la precipitación máxima diaria en el año. Esta se puede considerar, en una primera aproximación, un “proxy” grosero de la frecuencia de precipitaciones intensas, si bien con un valor limitado. Ambos valores muestran una variación bastante parecida a lo largo del periodo cubierto, con tendencia general a la baja. Es lógico esperar (aunque con los datos obtenidos hasta ahora no se pueda afirmar) que, tal como han puesto de manifiesto Bruschi et al. (2013a) en ciertas zonas del N de la Península Ibérica, la frecuencia de episodios de lluvias intensas siga una pauta “grosso modo” similar.

4.3. Población

La población en España ha aumentado de manera significativa a lo largo del último siglo (Fig. 7, INE, 2013) si bien ese aumento se ha distribuido de manera bastante irregular entre las distintas provincias (Fig. 8). Lógicamente, esa irregularidad en la variación de la población a lo largo del tiempo se refleja también en las cuencas. (Fig. 9). Como se ve, en todas las cuencas ha habido un incremento notable de la población en el siglo XX, siendo las del Duero y Guadiana las únicas que muestran una pequeña disminución con posterioridad a 1950.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

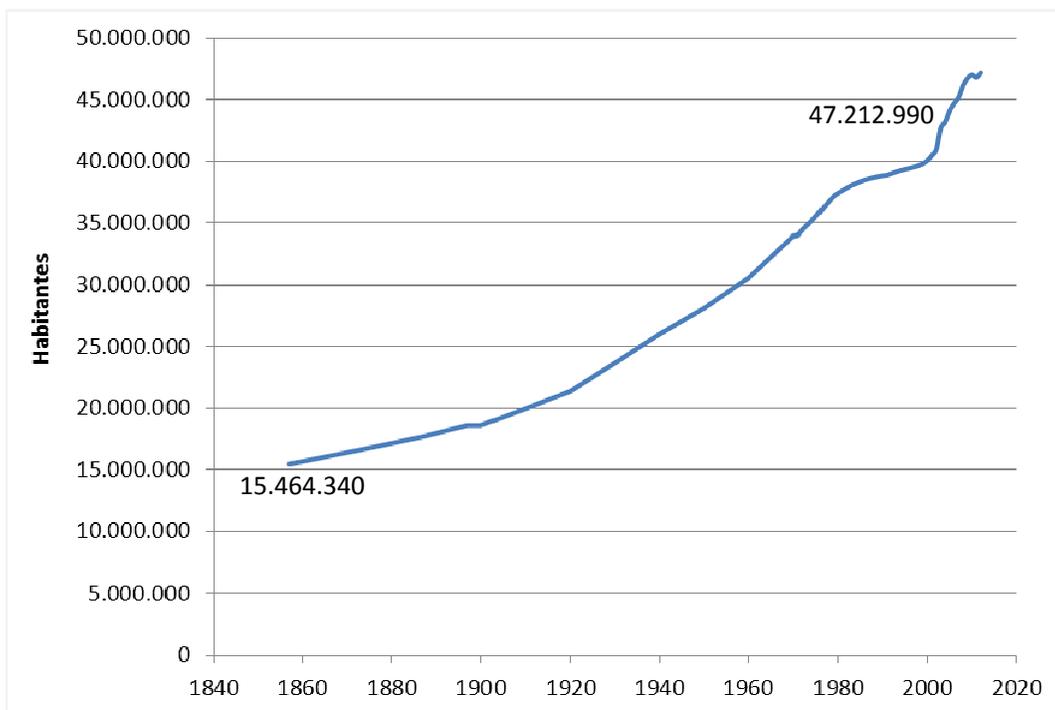


Figura 7. Evolución de la población en España entre los años 1857 y 2012. Fuente. INE (2013).

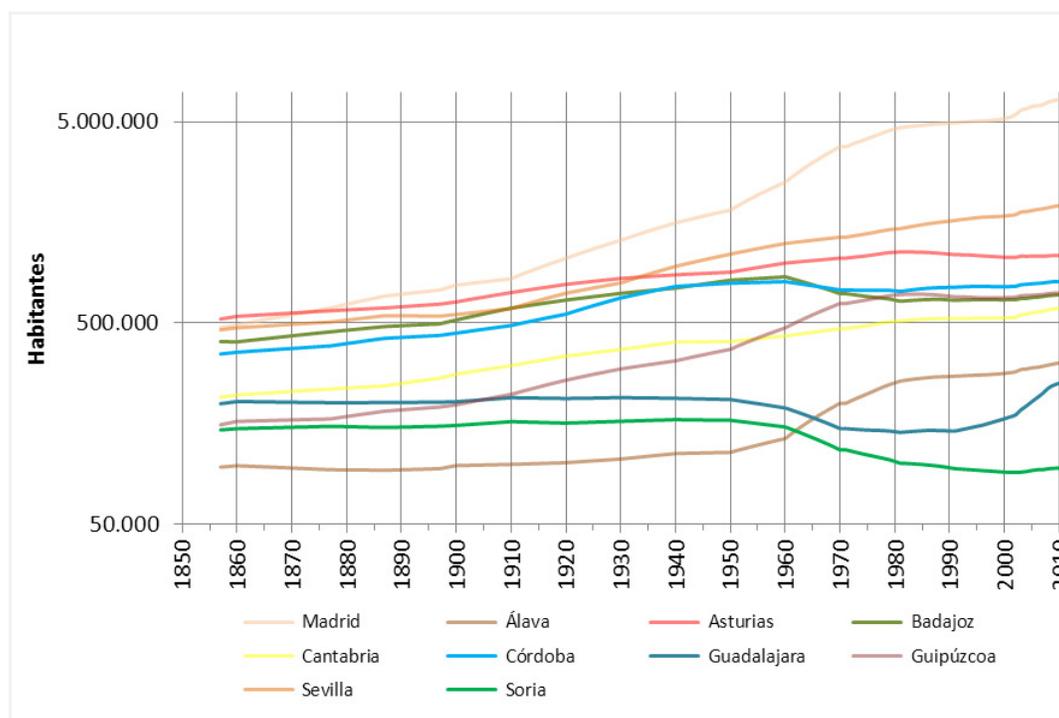


Figura 8. Provincias con una evolución de la población más acusada entre 1857 y 2012. Los valores discontinuos de las series disponibles se han interpolado Fuente: INE (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

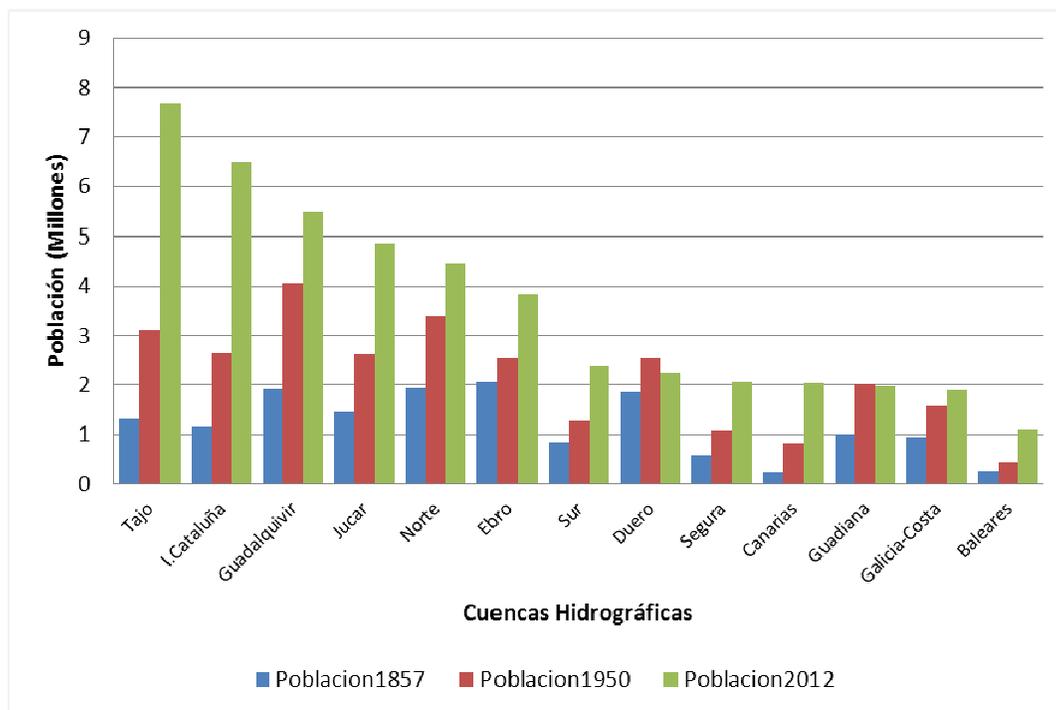


Figura 9. Evolución de la población aproximada, según la guía metodológica del CNIH (DGPC, 2011), en las diferentes cuencas hidrográficas españolas entre los años 1857, 1950 y 2012. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); INE (2013).

4.4. Daños

El análisis de daños se ha centrado en el número de personas afectadas (víctimas mortales, evacuados) (DGPC, 2011) y en las pérdidas económicas (CCS, 2012). En el caso de los daños a personas, los datos se han normalizado por 100.000 habitantes y año (Tablas 4 y 5 (Anexo)). Los datos de la tabla 4 (Anexo) muestran que, en el conjunto de España, el número de víctimas mortales por cada 100.000 habitantes se duplicó en la segunda mitad del siglo XX con respecto a la primera, con aumentos muy fuertes en las cuencas del Duero y Guadiana. Las únicas excepciones fueron las cuencas del Sur, Segura y Guadalquivir. Las variaciones entre el periodo 1011-1899 y los posteriores muestran una gran diversidad, según las cuencas, pero deben tomarse con mucha cautela, a causa de la limitada fiabilidad de los datos más antiguos. En todo caso, el periodo anterior al siglo XX es menos significativo para el presente análisis. El número de evacuados (Tabla 5 (Anexo)) aumenta en todos los casos, con un factor de incremento de cerca de 40 para el conjunto de España, y factores mucho más altos en algunas cuencas (hasta casi 1500 en la cuenca Sur).

Teniendo presente que los datos correspondientes a fechas antiguas tienen una fiabilidad limitada, las cifras anteriores muestran un gran aumento de las consecuencias de los daños personales por inundaciones (personas afectadas), si bien los daños graves (muertes) aumentan en menor medida, e incluso disminuye en una cuenca. Se señala que los datos están normalizados por número de habitantes, de modo que, en principio, el aumento de la población experimentado no debería tener una influencia significativa en las cifras. Algunos estudios a escala mundial para los últimos años (Goklany, 2009) reflejan una tendencia al aumento de las víctimas mortales, lo que también parece ser el caso en España, según los datos aquí presentados. Este crecimiento contenido de víctimas, probablemente se deba a una mejora en los distintos sistemas de prevención y

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

protección. Hay constancia de algunos episodios especialmente graves, como el de 1480 en la ciudad de Sevilla, con 15.000 víctimas, que dan lugar a diferencias puntuales en la imagen general de aumentos de evacuados y muertos.

El número de evacuados, lógicamente mucho más alto que el de muertos, permite hacer un análisis estadísticamente más significativo de los efectos de las inundaciones. La figura 10 muestra la variación experimentada desde 1900. En ella se aprecia que la tendencia a nivel nacional es creciente para todas las cuencas.

Como han indicado Bruschi et al. (2013a), las variaciones del PIB y de la población (sobre todo el primero) deberían mostrar una relación con la frecuencia o intensidad de los riesgos geomorfológicos. Por un lado, el aumento en ambos refleja un crecimiento de la exposición y, por tanto, de la probabilidad de que se produzcan daños. Por otro lado, ambos son indicadores de la modificación de la superficie terrestre por acciones humanas, a su vez propiciadora de la aceleración de los procesos geomorfológicos y de la peligrosidad de los mismos.

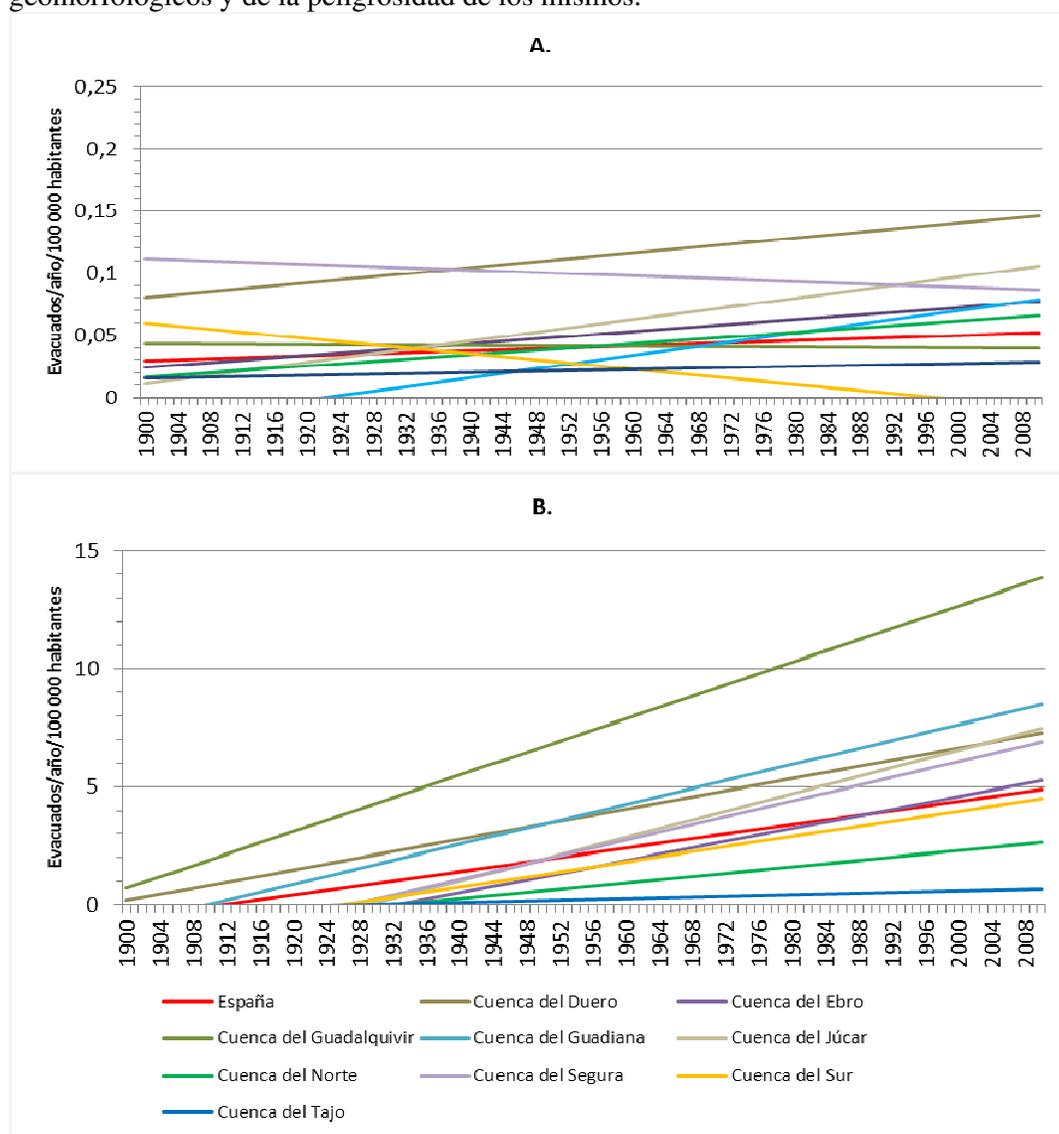


Figura 10. Tendencia lineal de víctimas (A) y evacuados (B) producidos por efecto de las inundaciones en las cuencas hidrográficas españolas en el periodo 1900-2010. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); INE (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

El PIB y la población en España han mantenido una tendencia creciente en los últimos años (Fig. 11; con datos de INE, 2013; Sánchez, 1999). El PIB de la figura anterior está expresado a precios de mercado, por lo que resulta algo engañoso. En la figura 12 (Bruschi et al., 2012) se muestra el PIB en el que se ha corregido el efecto de la inflación.

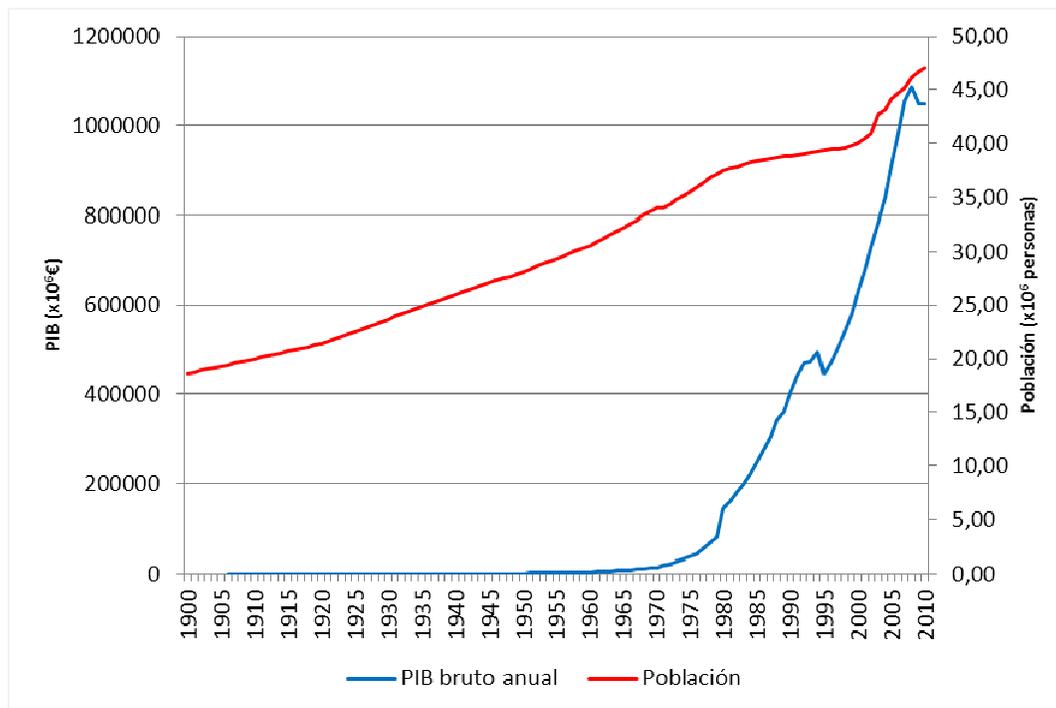


Figura 11. PIB (precios del mercado) y población de España, 1900-2010. Fuentes: INE (2013); Sanchez, 1999.

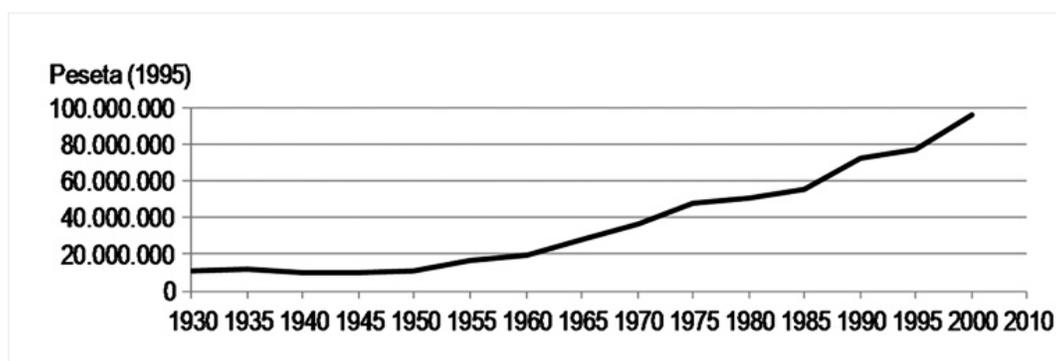


Figura 12. PIB de España, 1930-2010, corregido para la inflación. Fuente: Bruschi et al. (2012).

De acuerdo con las figuras 18 y 19, en el periodo 1950-2010 la población se multiplicó por un factor de aproximadamente 1.6 mientras que el PIB total lo hizo por un factor de aproximadamente 10. También han aumentado y, como era de esperar, de forma mucho más irregular, las indemnizaciones pagadas por daños de las inundaciones (Fig. 13; indemnizaciones anuales por cada 100.000 habitantes, a partir de 1971; CCS, 2012). La comparación directa entre las dos variables no es posible, por no disponer de cifras corregidas para la inflación de acuerdo con el mismo criterio en ambos casos. Es evidente que los daños materiales han aumentado de manera significativa, si bien con estos datos no es posible establecer en qué medida ese aumento se puede deber a una

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

mayor exposición o a un aumento de la peligrosidad. Más riqueza implica que hay más bienes dañables y, por tanto, más riesgo ($R=E*V*H$).

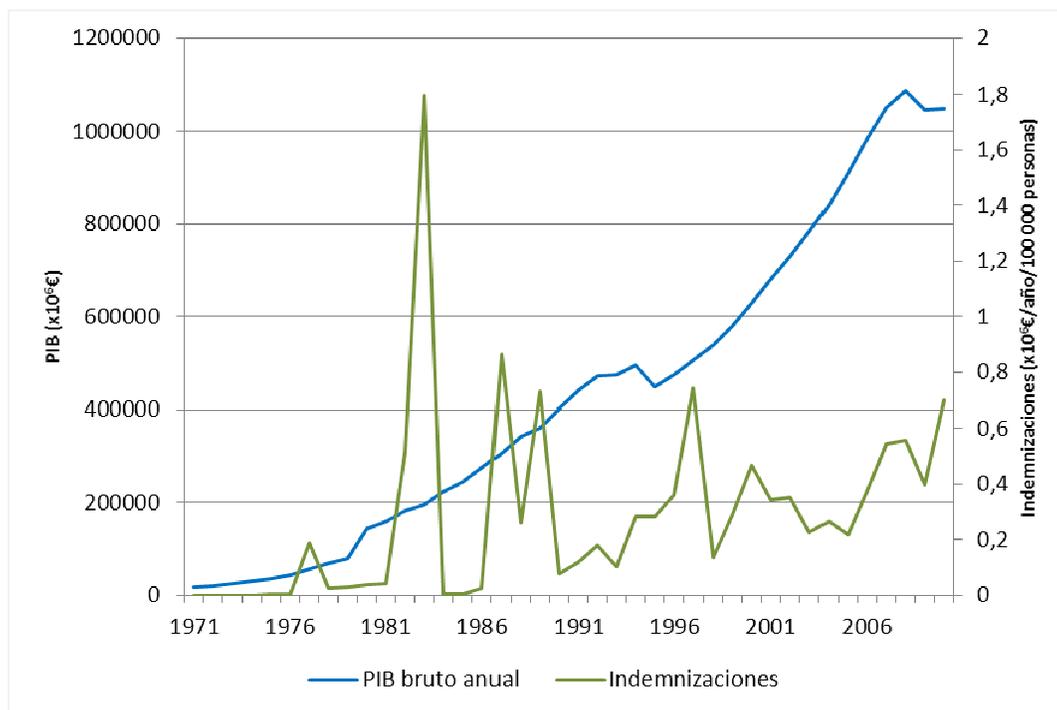


Figura 13. Evolución del PIB (precios del mercado) y de las indemnizaciones por inundaciones, 1971-2010. Fuente: CCS (2012); INE (2013).

También resulta de interés analizar la variación de las indemnizaciones satisfechas para las distintas cuencas (por cada 100.000 habitantes; Fig. 14) y para los ríos que han sufrido más daños por km de cauce (Fig. 15). En el primer caso no se aprecian tendencias definidas de variación, y en ciertas cuencas hay una tendencia general a la disminución y en otras al aumento. En el segundo caso, parece existir una tendencia general al aumento de los daños por km, a lo largo del tiempo, pero esta no se da en todos los ríos. Los aumentos son especialmente marcados en los ríos de la vertiente cantábrica, que en general tienen una longitud reducida y una densidad de población elevada.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

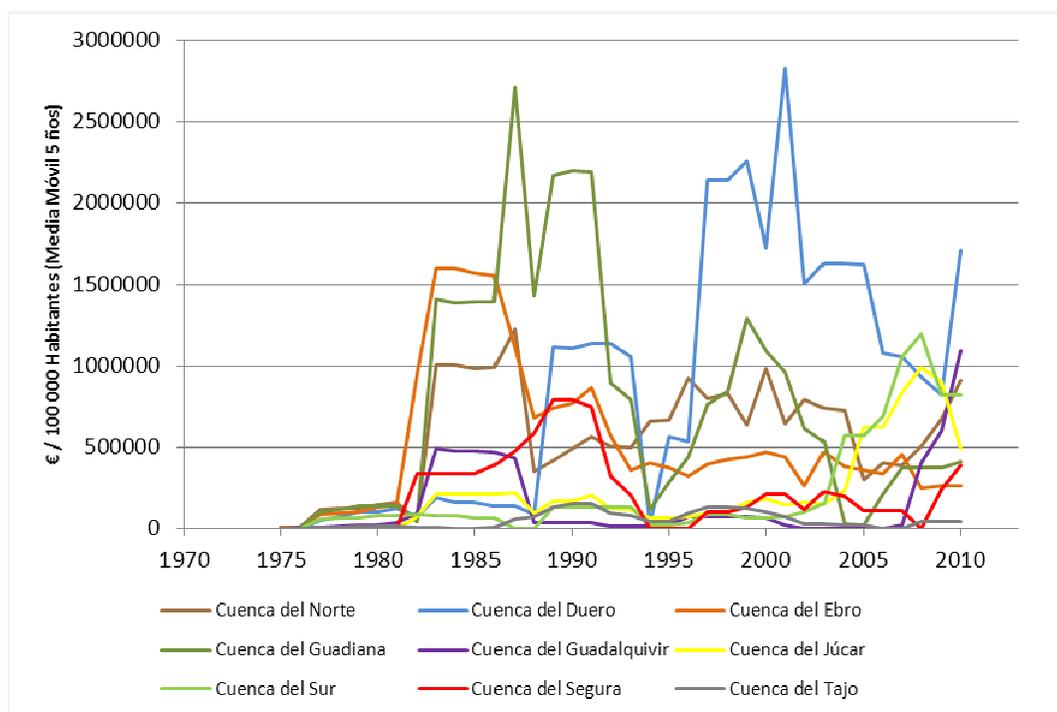


Figura 14. Media móvil a 5 años de las indemnizaciones satisfechas entre los años 1971 y 2011 en las principales cuencas hidrográficas. Fuentes: CCS (2012); INE (2013).

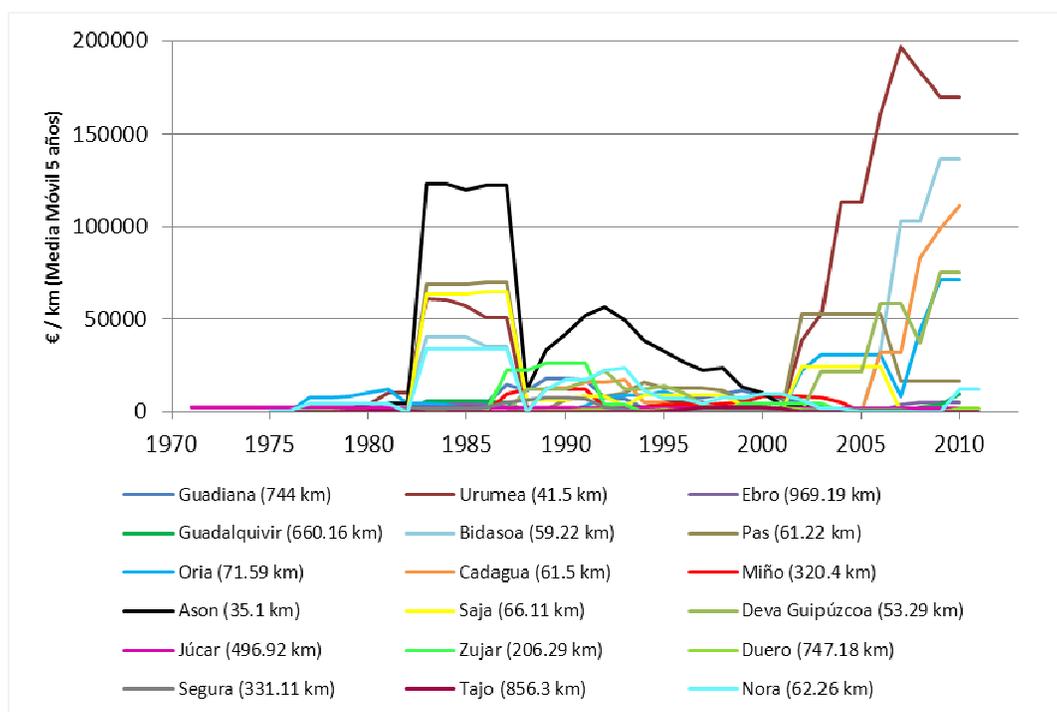


Figura 15. Variación de las indemnizaciones en ríos con totales superiores a 30×10^6 € en 1971-2010. Entre paréntesis, longitud de cada río, en Km. Fuente: CCS (2012).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Si se considera el conjunto de los datos a nivel regional (Fig. 16), la tendencia general es al aumento de las indemnizaciones “grosso modo” de forma similar al PIB, tal como han señalado varios autores. (Prados de la Escosura, 2003; Bolt y Luiten, 2013; INE, 2013).

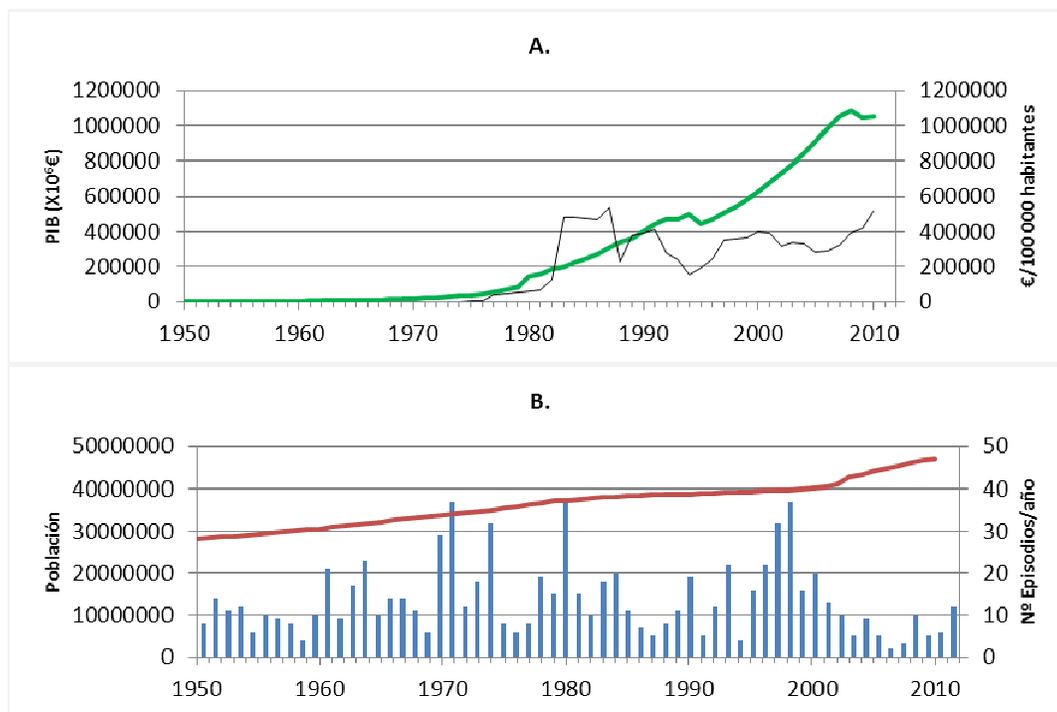


Figura 16. Variación de la población, PIB, indemnizaciones satisfechas por inundaciones y número de episodios de inundación en España, periodo 1950-2010. En el gráfico B se representa la variación de la población (línea roja) y el número de inundaciones/año (barras azules). En el gráfico A el PIB (línea verde) y la media móvil (5 años; línea negra) de las compensaciones satisfechas por daños debidos a inundaciones en euros a 31/12/11. Fuentes: CCS (2012); INE (2013); CNIH (DGPC, 2011).

4.5. Selección y descripción de las áreas de estudio

De acuerdo con lo expuesto en la introducción, el proceso de modificación de la superficie terrestre que se está tratando de analizar se manifiesta sobre todo en el siglo XX, muy especialmente a partir de mitad del mismo. Por ello, conviene seleccionar zonas de estudio en las cuales las series de datos a utilizar cubran al menos desde 1950, con el fin de contrastar la hipótesis planteada.

A la vista de los datos presentados sobre la ocurrencia de inundaciones y la variación de distintos factores que pueden influir en su frecuencia y consecuencias a nivel nacional, se considera adecuado que el estudio más detallado se centre en la llamada “Cuenca Norte”. Como es bien conocido, esta cuenca es en realidad un conjunto de cuencas de dimensiones reducidas, lo que facilita la selección de algunas cuyo análisis sea abordable dentro de los límites propios de un trabajo de fin de Master. La precipitación anual en toda esta zona es importante, superior en general a los 1200 mm, y ha registrado una tendencia a la disminución. Además, a lo largo de las últimas décadas se ha registrado un aumento significativo de las inundaciones, y la construcción de embalses no ha sido tan importante como en otras zonas del país.

La población y el PIB en esta región, al igual que en el conjunto de España, han crecido de manera apreciable en el último siglo, aumentando así la exposición al peligro

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

de inundación. Esto se ve reflejado en el número de evacuados al año y el total de víctimas, con aumentos destacables en la Cuenca Cantábrica Oriental, especialmente en la provincia de Guipúzcoa con 5,3 evacuados y 0,15 víctimas al año por cada 100.000 habitantes. La misma provincia es la que presenta una indemnización media anual más alta, con 52.408.158 € por cada 100.000 habitantes, debido a las inundaciones en el periodo 1971-2011, y por la que discurre el río Urumea causante de 72.535.367,92 € en indemnizaciones para el periodo 1971-2011. Es uno de los ríos que, según el CCS, presenta más episodios de daños por inundaciones y ha generado mayores indemnizaciones desde que se tienen datos.

En la Cuenca Cantábrica Occidental es el Principado de Asturias el que presenta un mayor número de episodios. Esta provincia tiene densidad de población y de PIB 3-4 veces menores que Guipúzcoa, por lo que resulta adecuada para seleccionar una cuenca que permita contrastar los resultados que proporcione la cuenca anterior. En esta comunidad se ha seleccionado la cuenca del río Nora, de mayor extensión y menor densidad de población que la del Urumea, pero dentro de las características generales de la región cantábrica, como es lógico.

Cuenca del río Urumea

La cuenca del río Urumea (Figura 8 (Anexo)) se sitúa entre la Provincia de Guipúzcoa donde tiene su desembocadura, y la Provincia de Navarra donde se encuentra la cabecera. El río Urumea tiene una longitud de 41,05 km, siendo su principal afluente, el Añarbe, donde se sitúa una presa de abastecimiento. El Urumea es un río perenne de morfología meandriforme y de cauce único, con un perfil longitudinal indicativo de que es un río de edad elevada. Abarca una superficie de 276 km² (IGN, 2013) de los cuales 112 km² corresponden a Guipúzcoa y 144 km² a Navarra. La pendiente media del terreno se sitúa en torno a los 20° y la cota más alta de su divisoria en 1141 m.

Esta cuenca comprende los municipios guipuzcoanos de Hernani, Oiartzun, Errentería, San Sebastian (Donosti), Urrieta, Lasarte-Oria y Astigarraga, así como los navarros de Arantza, Arano, Eratsun, Ezkurrea, Goizueta, Beintza Labaien, Leitza y Zubieta. La población total de dichos municipios era de 289.475 habitantes en 2012, con una densidad media de 911,25 habitantes/km². Naturalmente, los límites de los municipios no coinciden exactamente con los de la cuenca, por lo que la población total y densidad en la misma son ligeramente diferentes. En todo caso, el grado de coincidencia es lo suficiente mente grande como para poder utilizar los datos demográficos para los fines de este análisis, en el que lo que se consideran son las tendencias de variación a escala de décadas. La población expuesta a inundaciones es, por supuesto, menor y comprende sobre todo la de zonas inundables cerca de los márgenes. El área del río Urumea en la influencia de zona de policía es de 39 km² y comprende 35.538 habitantes. Los datos del proyecto CORINE Land Cover 2006 (IGN, 2013), indican que 10.5% de la superficie corresponde a usos agrícolas, 83.3% a usos forestales y 5.4% a terrenos artificiales (edificaciones, vías de comunicación, etc.).

Cuenca del río Nora

La cuenca del Nora (Figura 9 (Anexo)) se sitúa en la zona central de Asturias. El río Nora es un río perenne de morfología meandriforme y de cauce único, con una longitud de 62,26 km, siendo su principal afluente el Noreña. Su perfil longitudinal (Figura 10 (Anexo)) indica que se trata de un río de edad entre madura y joven. Ocupa

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

una superficie de 382 km² (IGN, 2013) y presenta una pendiente media cercana a 10°, y altura máxima de la divisoria de 757 m.

Los municipios que se encuentran en la cuenca son Langreo, Llanera, Nava, Oviedo, Las Regueras, Sariego y Siero, con una población total de 344.880 habitantes en 2012 y una densidad de 434.67 habitantes/km². La población dentro de la cuenca se estima en unos 166.000 habitantes. El área del río Nora bajo la denominación de zona de policía cubre 54 km², con unas 24.000 personas directamente expuestas a las inundaciones. Los datos de usos del suelo extraídos del proyecto CORINE Land Cover 2006 (IGN, 2013) muestran que 61.25% son usos agrícolas, 29% a usos forestales y 9.6% a terrenos artificiales.

5. TAREAS REALIZADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación se describen brevemente las tareas desarrolladas en las áreas de estudio, así como los resultados derivados de las mismas.

Tarea 1. Las inundaciones en las cuencas de estudio.

Las inundaciones en la cuenca del Urumea se han producido según los informes consultados durante el período invernal con lluvias prologadas durante dos o más días. En la frecuencia de inundaciones se puede observar un máximo que correspondería a un evento de “Gota Fría” ocurrido durante el verano de 1983. Las inundaciones en la cuenca del Nora no están limitadas a una estación, son frecuentes entre los meses de primavera y otoño y son causadas por fuertes temporales de lluvias en ocasiones de corta duración.

Para determinar si existe o no una tendencia al aumento de la frecuencia o de la magnitud de las inundaciones en las cuencas del río Urumea y del río Nora, en el periodo de estudio establecido, se ha tenido en cuenta el número de inundaciones anuales a partir del Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (en adelante CNIH) (DGPC, 2011) y para determinar si se ha incrementado la intensidad/magnitud de las inundaciones ocurridas se han analizado los datos recogidos por las estaciones de aforo del CEDEX en los ríos Urumea y Nora (MAGRAMA, 2013). Los datos que se muestran en la figura 17 (media móvil, 5 años) indican en ambos ríos una ligera tendencia al aumento de la frecuencia en la segunda mitad del periodo cubierto, pero esa tendencia no está claramente definida. Por otro lado, la serie solo abarca partir de 1970, por lo que no se pueden hacer comparaciones con la primera mitad del siglo y resulta arriesgado extraer conclusiones.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

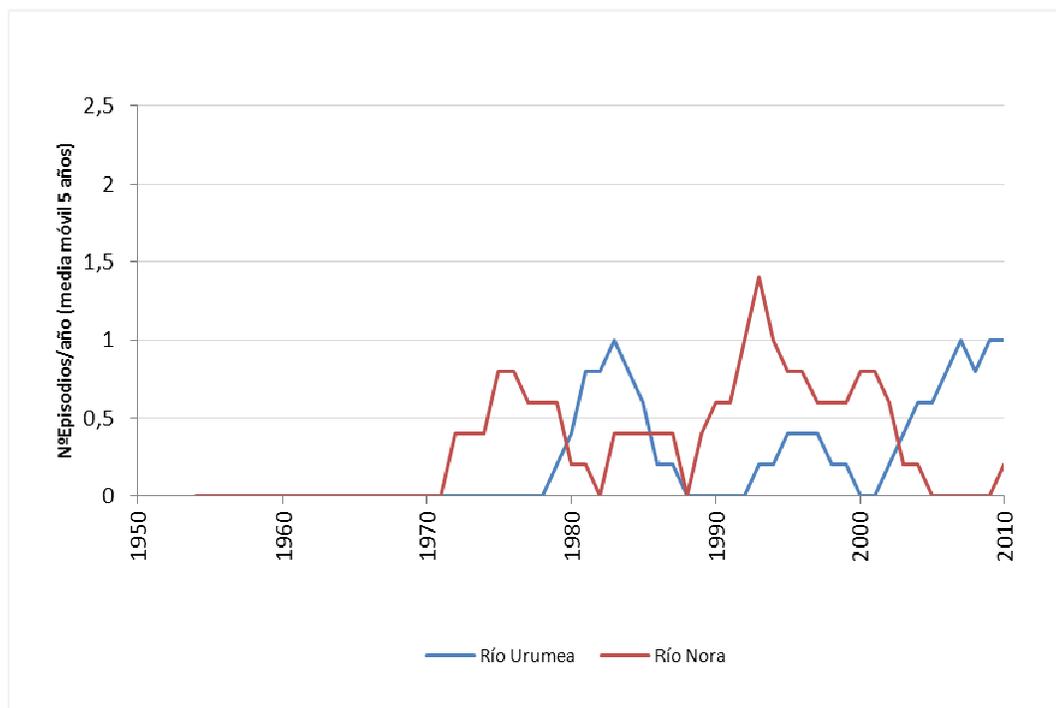


Figura 17. Frecuencia de las inundaciones producidas por los principales cauces en la Cuenca del Urumea y la Cuenca del Nora. Fuente: CNIH (DGPC, 2011).

Para analizar las tendencias de variación de la magnitud, se han analizado los datos de la estación de aforo 1105 en Ereñozu (río Urumea) y la 1343 en San Cucao (río Nora). Se han obtenido los caudales máximos instantáneos de cada año (Q_{ci}), así como la media de los caudales máximos diarios a escala mensual y anual (Q_c). En el caso de la cuenca del Urumea, se ha obtenido también el dato de la altura máxima que ha alcanzado la inundación durante algunos episodios a lo largo del periodo analizado y en diferentes puntos del recorrido de éste a partir del CNIH (DGPC, 2011). Los resultados para la cuenca del Urumea son aparentemente contradictorios. Las distintas medidas del caudal muestran una tendencia decreciente, pero la altura del cauce es creciente (Figs. 18 y 19). En el caso de la cuenca del Nora, los caudales presentan una tendencia creciente en el periodo cubierto (figura 20).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

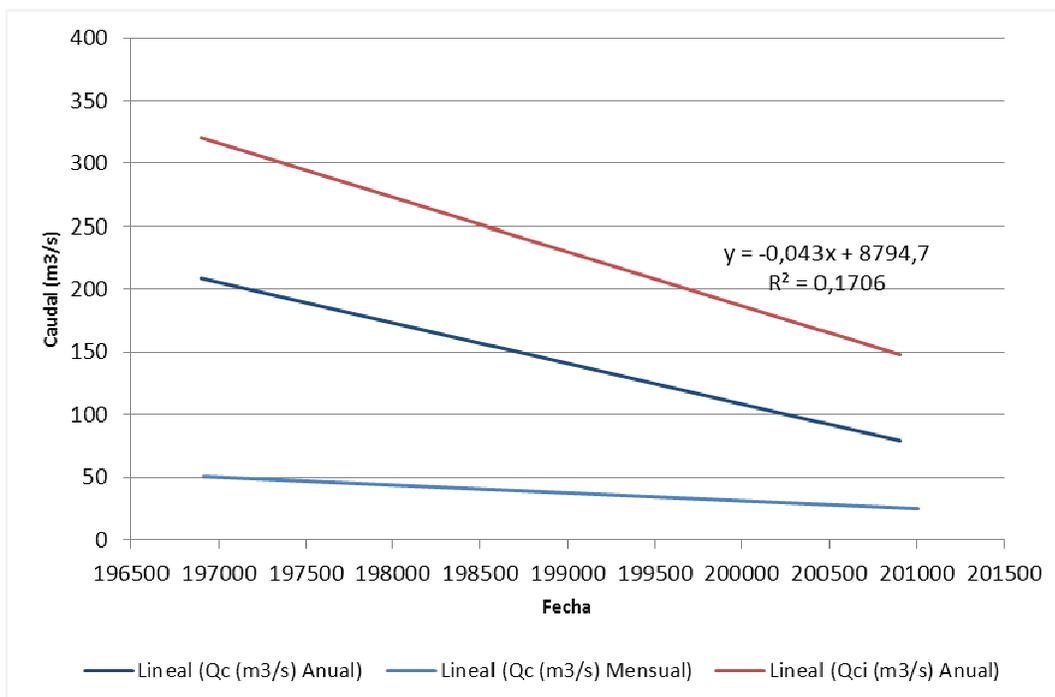


Figura 18. Variación de los caudales (m^3/s) en el río Urumea en el periodo 1970-2010. Qci: caudales máximos instantáneos anuales; Qc: caudal medio máximo mensual y anual. Fuente: CEDEX (MAGRAMA, 2013). Los Qc son datos medios registrados por mes y por año del máximo caudal registrado. La serie mensual es de aproximadamente 500 datos mientras que la anual son 40 datos.

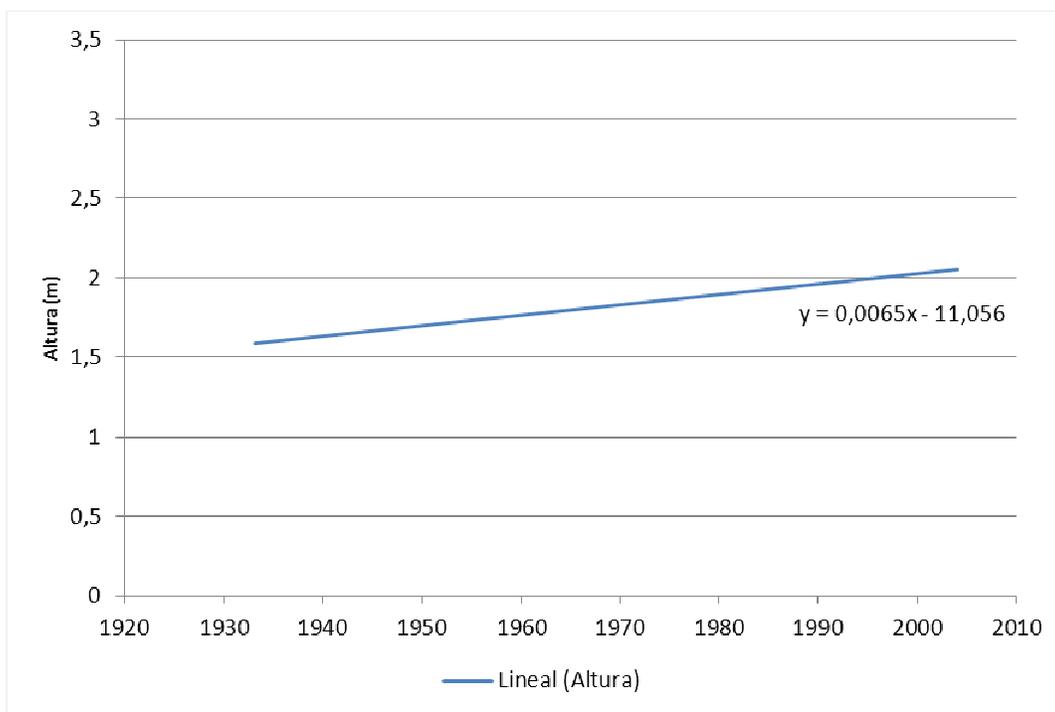


Figura 19. Tendencia en la altura del río Urumea en diferentes puntos de su trayectoria para diferentes episodios. Fuente: CNIH (DGPC, 2011).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

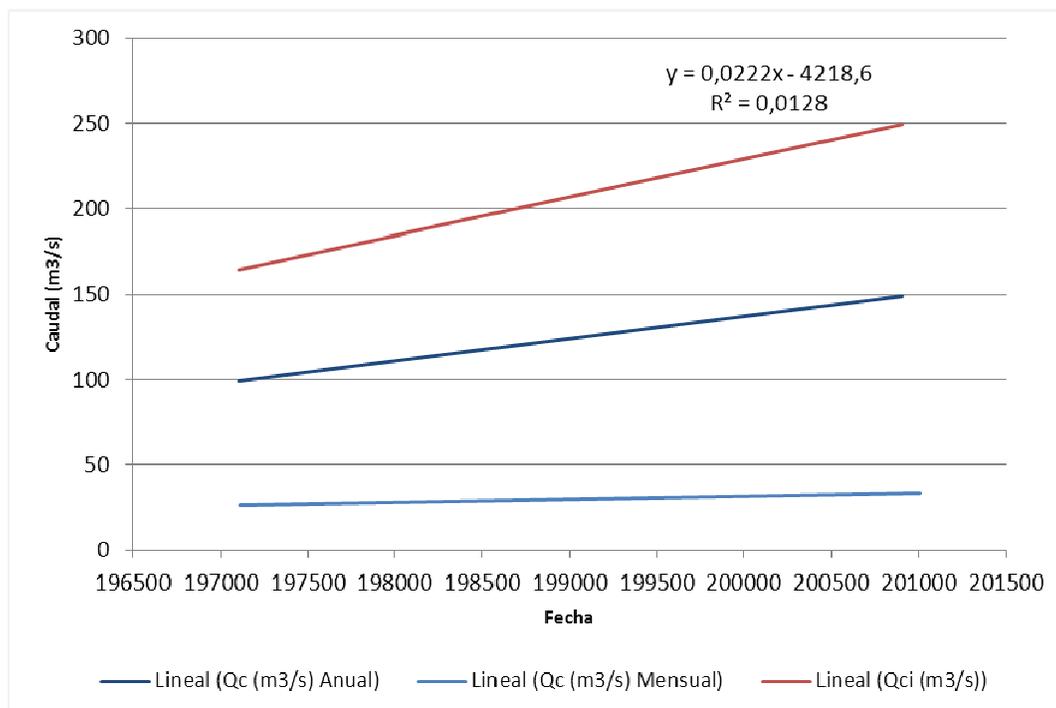


Figura 20. Variación de los caudales (m^3/s) en el río Nora en el periodo 1970-2010. Qci: caudales máximos instantáneos anuales; Qc: caudal medio máximo mensual y anual. Fuente: CEDEX (MAGRAMA, 2013).

Tarea 2. Las precipitaciones en las cuencas de estudio.

Para determinar si existen cambios en las tendencias pluviométricas se han obtenido datos sobre las precipitaciones anuales y sobre indicadores de la frecuencia de las lluvias intensas en las cuencas de estudio. Para ello se han tenido en cuenta los datos proporcionados por la AEMET y por el INE, las series estadísticas de la variación climática a partir de datos estadísticos (Barciela et al., 2005), así como los datos aportados por Bruschi et al. (2013a). Es interesante en esta tarea tener una perspectiva general del cambio climático señalada por el IPCC (2007), que muestra una tendencia al aumento de la temperatura y una variación irregular de las precipitaciones, con una cierta tendencia, aunque no claramente definida y bastante variable de unas regiones a otras, al aumento de los episodios climáticos extremos, entre ellos las precipitaciones intensas.

Las precipitaciones anuales en la cuenca del Norte, extraídas a partir de los datos promediados de las cuencas Galicia-Costa, Miño-Sil, Cantábrico Oriental y Occidental obtenidos del SIA (MAGRAMA, 2013), entre 1950 y 2010 marcan una tendencia decreciente, y lo mismo ocurre los registros de las ciudades de San Sebastián y Bilbao, mientras que Oviedo y Gijón prácticamente no muestran variación (Fig. 21).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

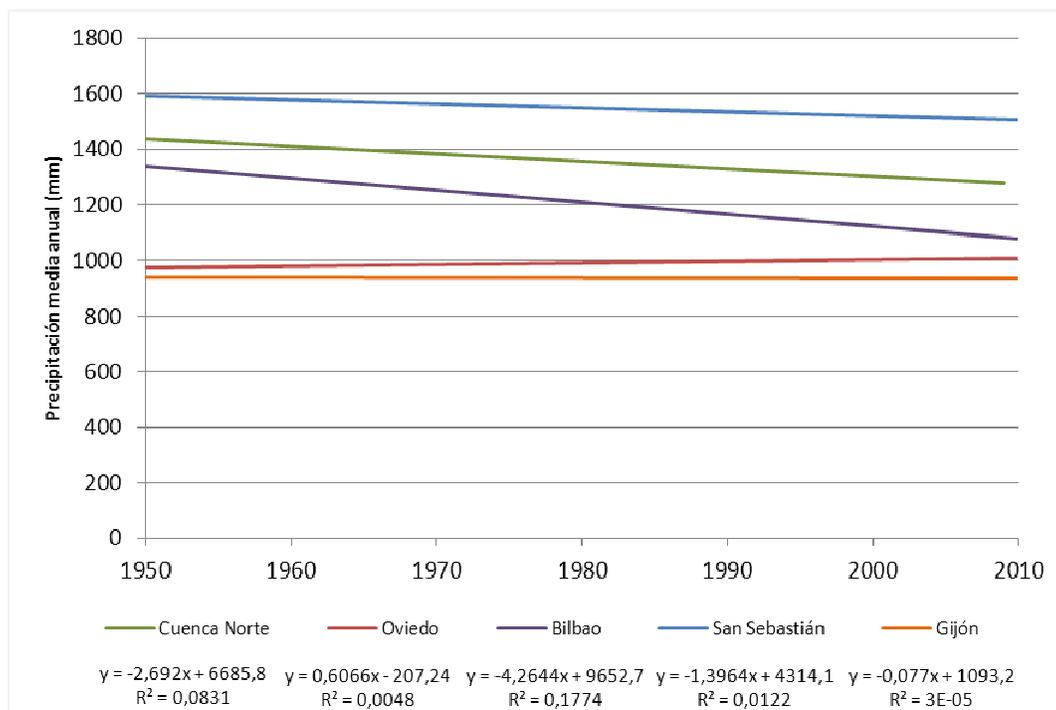


Figura 21. Tendencias de las precipitaciones medias anuales en la cuenca Norte y en las principales ciudades próximas a las cuencas de estudio. Fuentes: MAGRAMA (2013); AEMET (2013); Barciela et al., 2005.

Pero, para el presente análisis, más relevante que los datos de precipitaciones totales son los relativos a la frecuencia o magnitud de los episodios de lluvias intensas. En relación con estos se han podido obtener dos tipos de valores que informan de manera indirecta sobre las mismas. Por un lado, la precipitación máxima diaria de cada año en dos estaciones muy próximas a las cuencas de estudio (Oviedo y San Sebastián, Fig. 22). Por otro lado, la intensidad máxima de precipitación registrada en diferentes estaciones de las cuencas de estudio, así como la frecuencia de precipitaciones superiores a 60 mm/hora, que muestran una tendencia creciente, tanto en la cuenca del Urumea como en la cuenca del Nora. Los datos de la intensidad, representan el valor máximo registrado cada año en cada cuenca (AEMET, 2013). En el caso de la cuenca del Urumea, se han extraído de la estación de San Sebastián-Igueldo (1916-2013) y San Sebastian-CMT (1987-2013), y de la estación meteorológica de Oviedo (1972-2013) para la cuenca del Nora (Fig. 23).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

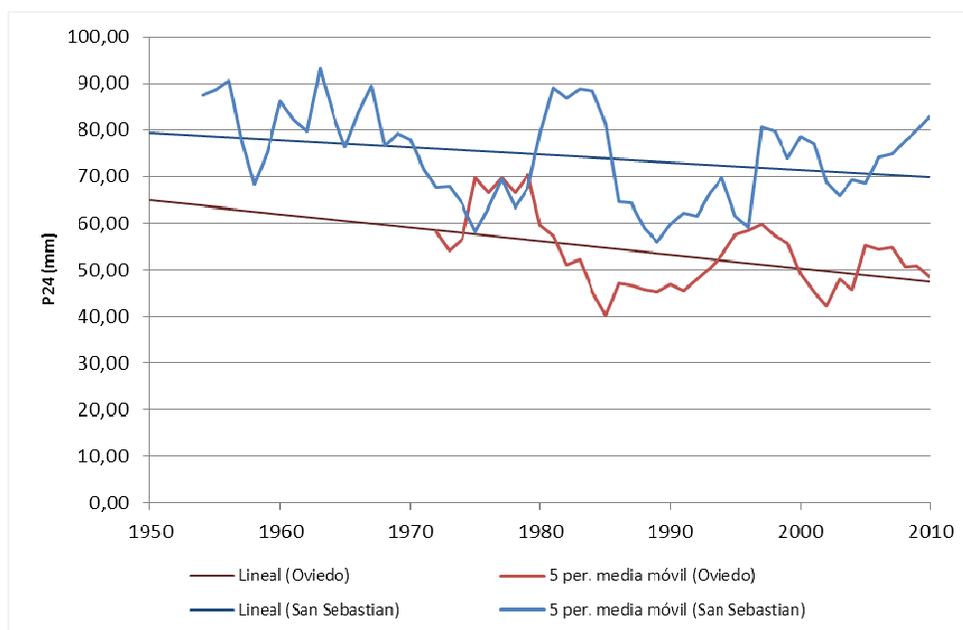
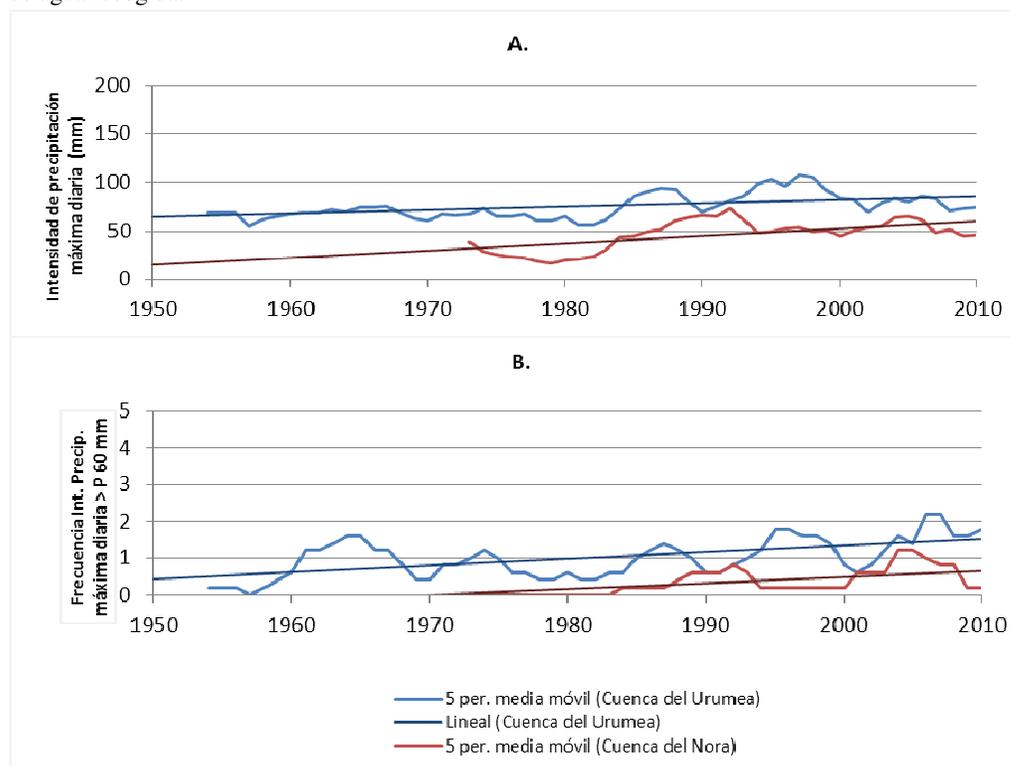


Figura 22. Evolución de las precipitaciones total diarias recogidas de 00 a 24 horas en las ciudades de Oviedo y San Sebastián entre los años 1950 y 2010. Fuente. AEMET (2013). Este dato refleja el volumen de agua recogida.



Fig

ura 23. A) Evolución de la intensidad de precipitación máxima diaria registrada en las estaciones de San Sebastián (Igueldo, CMT) para la cuenca del Urumea y Oviedo para la cuenca del Nora. El valor recogido es el valor máximo registrado anualmente para el periodo 1950-2010. B) Frecuencia de la intensidad de precipitación máxima diaria > P 60 mm, para las mismas estaciones climatológicas. Fuente: AEMET (2013). La serie de datos es diaria y se ha representado el valor máximo diario obtenido para cada año de la intensidad de precipitación.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Según se aprecia en las figuras, los resultados son aparentemente contradictorios, puesto que unos datos sugieren un aumento de las precipitaciones intensas en el último medio siglo y otros una disminución de la cantidad de precipitación recogida. Por otro lado, los datos presentados por Bruschi et al. (2012, 2013) mostrados en la figura 24, ponen de manifiesto una disminución de los episodios de lluvias intensas en la zona cantábrica, contrariamente a lo que muestra la figura 23.

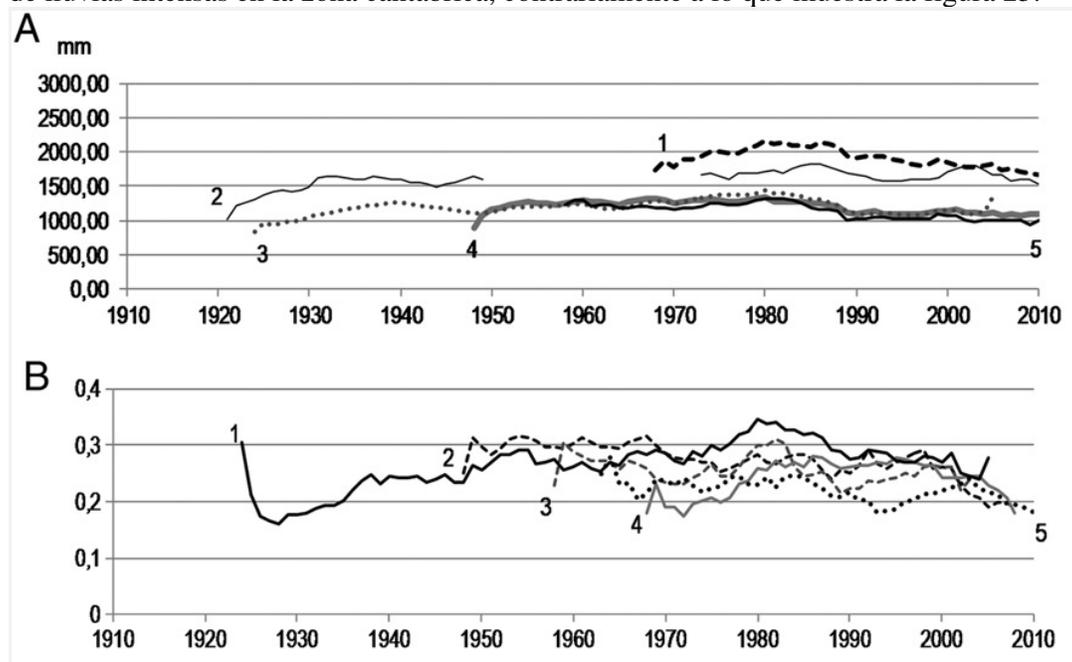


Figura 24. A) Precipitaciones (1: Mirones; 2: Pontevedra; 3: Santander; 4: Bilbao airport; 5: Molledo). B) Aporte de los episodios de precipitaciones intensas (>P 95; media móvil 10 años; 1: Santander; 2: Bilbao; 3: Molledo; 4: Mirones; 5: Pontevedra). Fuente: Bruschi et al., 2012.

Tarea 3. La población y los usos del suelo en las cuencas de estudio.

Para tratar de analizar el posible efecto de las actividades humanas en las inundaciones, a través de modificaciones en las cuencas de estudio (Figs. 8 y 9 (Anexo)) se han utilizado dos indicadores: la población y la superficie ocupada por distintos usos del suelo. El primero es un indicador indirecto de la presión humana sobre el territorio y el segundo un indicador directo del grado de modificación real que ha experimentado.

En la cuenca del Urumea, los municipios que se han tenido en cuenta para llevar a cabo el estudio de población son los de Astigarraga, San Sebastián (Donosti), Hernani y Urnieta en la Provincia de Guipúzcoa, así como Arano y Gorzuela en la Provincia de Navarra. El resto de municipios no contienen población significativa dentro de la cuenca. En el caso de la cuenca del Nora, los municipios considerados han sido: Llanera, Nava, Oviedo, Las Regueras, Sariego y Siero. El municipio de Langreo contiene poca o nada población en la zona de influencia de la cuenca. Se ha tomado como población de la cuenca la suma de las poblaciones de los municipios indicados. Los valores obtenidos son por tanto aproximados. No obstante, dado que lo que interesa determinar son las tendencias de variación, estos valores aproximados resultan aceptables, ya que el grado de correlación entre ambas tendencias es, en principio, muy alto.

La población de ambas cuencas ha experimentado un crecimiento apreciable desde 1900, con una inflexión hacia mitad de siglo (Fig. 25). En el caso del Urumea

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

hubo una aceleración marcada entre aproximadamente 1955 y 1980, seguida de un leve descenso y de un nuevo aumento. El crecimiento en la cuenca del Nora ha sido menos acusado y más regular. La población aproximadamente se duplicó en ambas cuencas entre 1950 y 2010.

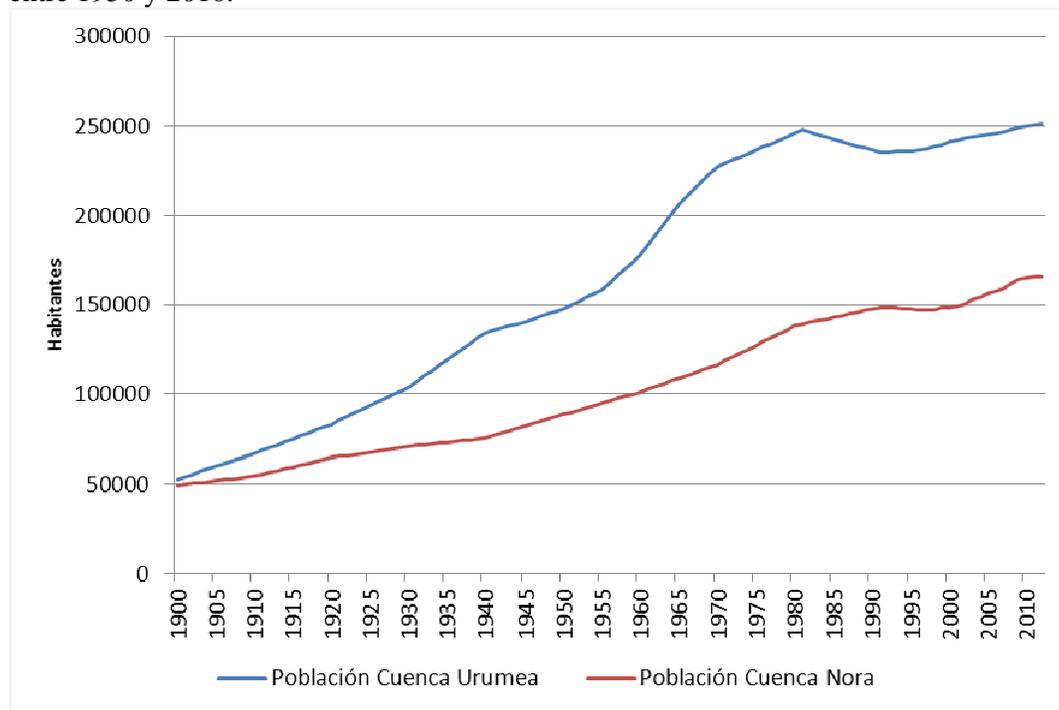


Figura 25. Evolución de la población en las cuencas de los ríos Urumea y Nora para el periodo 1900-2012. Fuente: INE (2013); IEN (2013).

Para conocer el grado de modificación del territorio, se ha obtenido la superficie de los usos del suelo en las cuencas desde los años 1954 hasta la actualidad. Para ello se han utilizado los datos del proyecto CORINE Land Cover (IGN, 2013), las series disponibles de los años 1990, 2000 y 2006, clasificados en 3 clases; superficies artificiales, superficies agrícolas y superficies forestales. Para complementar lo anterior, se ha determinado la superficie artificial, por ser la más relevante en este estudio, en las fotografías aéreas de 1954 y 1983 en la cuenca del Urumea a partir de las ortofotografías disponibles en la Diputación Foral de Guipúzcoa, Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (IDE de Euskadi, 2013) y las fotografías aéreas del vuelo de 1956 para la cuenca del Nora disponibles en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) (www.cnig.es). Esta determinación dada la naturaleza de estas imágenes, es aproximada, pero permite tener una idea de los cambios desde mediados de siglo.

Como contraste de los datos de CORINE, se ha determinado la superficie de los elementos artificiales de la BCN25, datum ETRS89, en la cuenca del Nora. Para calcular el área de los usos del suelo a partir de los elementos de la BCN25 se han aplicado a los elementos lineales y puntuales, diferentes perímetros, mientras que a los elementos formados por polígonos no se les ha aplicado ningún perímetro. (Tabla 7 (Anexo) y Figs. 11, 12 (Anexo); IGN, 2013). La superficie total obtenida es de 31 km² utilizando los datos de la BCN25, y 37 km², con CORINE, que es algo menos precisa. Es decir, hay una diferencia del 16%.

Los datos de usos del suelo muestran en ambas cuencas una tendencia al aumento de la superficie artificial (que aproximadamente se duplica en la cuenca del

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Urumea y se triplica en la del Nora), y disminución en la superficie agrícola, con estabilidad en la superficie forestal (Fig. 26; Tabla 8 (Anexo)). Dicho cambio debería, en principio, acentuar la escorrentía en las dos cuencas.

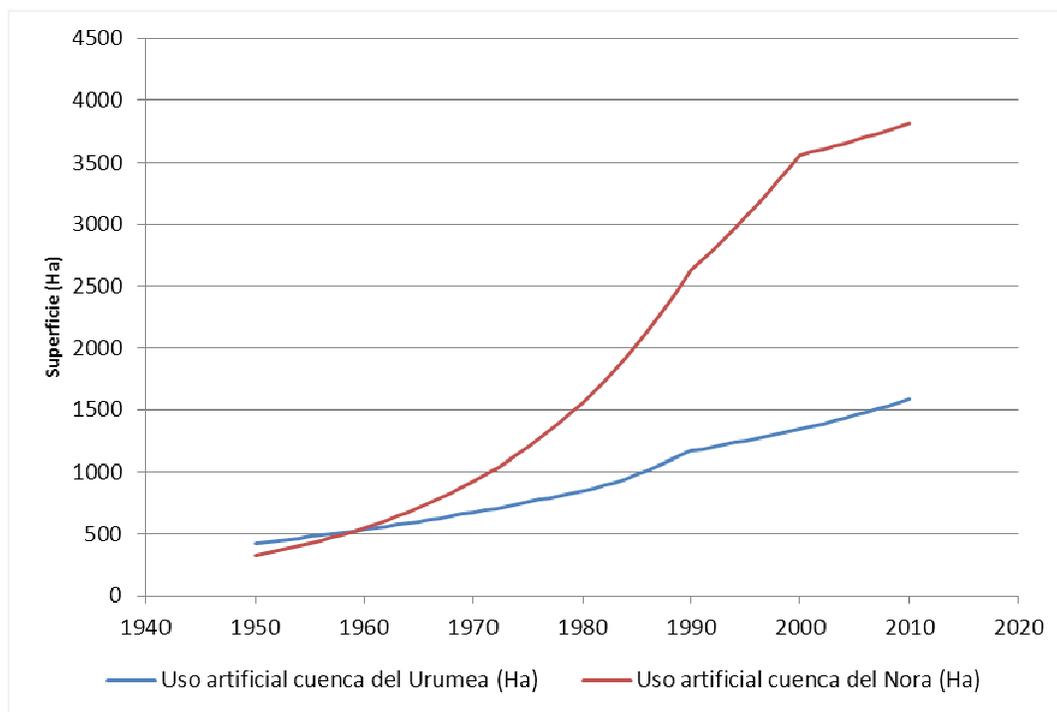


Figura 26. Evolución de la superficie artificial en las cuencas de estudio. La Cuenca del Nora presenta un aumento marcado, y menos acusado la del Urumea. Fuente: Proyecto CORINE Land Cover (IGN, 2013) y análisis con fotografía aérea.

El aumento de la población ha generado, por lo tanto, un importante cambio de los usos del suelo en las zonas de estudio (Figura 13 (Anexo)) desde 1950, acentuándose en períodos más recientes.

Tarea 4. Los daños en las cuencas de estudio.

Para determinar la variación temporal de los daños debidos a las inundaciones en las cuencas de estudio, durante el periodo de análisis cubierto, se ha acudido a los datos sobre indemnizaciones satisfechas por el CCS entre 1971 y 2011.

La figura 27 muestra el total de daños causados por cada kilómetro del río Urumea y del río Nora (media móvil de 5 años; CCS, 2012). Se aprecia en ambos casos un pico inicial a principios de los 80, seguido de una fuerte tendencia creciente en el Urumea y ligeramente decreciente en el Nora.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

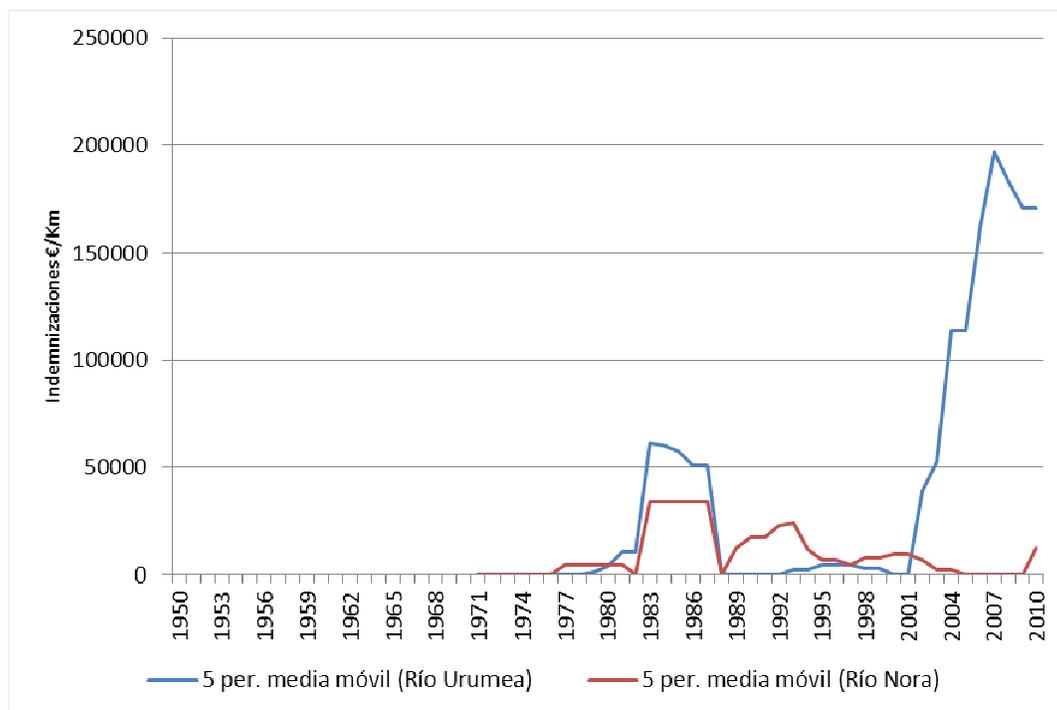


Figura 27. Indemnizaciones abonadas por km en los ríos Urumea y Nora entre los años 1971 y 2010 (media móvil de 5 años). Fuente: CCS (2012).

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Tal como se ha expuesto en la introducción, en este trabajo se intenta obtener evidencias nuevas que permitan contrastar el modelo propuesto para explicar el “cambio geomorfológico global”, a través del análisis de posibles relaciones entre impulsores naturales y humanos de los procesos geológicos superficiales y algunas de las manifestaciones de éstos. Las tendencias de variación de las distintas variables consideradas se resumen brevemente a continuación, para pasar posteriormente a analizar si existen relaciones entre las mismas.

La frecuencia de las inundaciones, a nivel nacional, muestra un claro incremento desde inicio del siglo XX, y un aumento menos definido en la segunda mitad del mismo. En la mayoría de las grandes cuencas (no en todas y con tendencias en ocasiones no bien definidas), la frecuencia de las inundaciones ha sido mayor a partir de 1950. Es interesante señalar que a partir de los años sesenta se construyeron un gran número de embalses, lo cual, a igualdad de otros factores, debería haber dado lugar a una reducción de la frecuencia de las inundaciones. Sin embargo, lo ocurrido ha sido lo contrario (Fig. 4). Las tendencias en las cuencas del Urumea y Nora también apuntan a un aumento hacia el final del periodo cubierto pero, nuevamente, dichas tendencias no están claramente definidas (Fig. 17).

En lo que se refiere a la magnitud de las inundaciones, no se dispone de datos a nivel nacional, pero sí hay datos indirectos en las dos cuencas citadas. Dichos datos son aparentemente contradictorios. En el Urumea (Figs. 18 y 19), las distintas medidas de los caudales muestran una tendencia decreciente, pero los datos relativos a la altura del agua durante las inundaciones presentan tendencia creciente. Esto parece indicar una disminución de los aportes de agua al cauce, pero un aumento de los caudales en momentos de crecida. Por el contrario, en la cuenca del Nora (Fig. 20) los caudales

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

muestran una tendencia general al aumento. No se dispone aquí de datos sobre la altura del agua.

Las precipitaciones en la gran mayoría de las grandes cuencas de la Península Ibérica muestran una tendencia a la disminución (Figs. 7.A – 7.I (Anexo)). La precipitación máxima diaria, que como se ha indicado es un grosero “proxy” de los episodios de lluvias intensas, muestra una variación similar. En los observatorios con series largas próximos a las dos cuencas de estudio, la tendencia general es a la disminución de las precipitaciones (Fig. 21), lo cual coincide con lo señalado por Bruschi et al. (2012, 2013). Si consideramos la cantidad máxima de lluvia registrada diariamente para diferentes escalas, mensual o anual, dichas cuencas muestran una tendencia a la disminución (Fig. 22). Por otro lado, si se considera la intensidad y la frecuencia de episodios de lluvias intensas, los indicadores directos obtenidos para dichas cuencas muestran una tendencia al aumento (Fig. 23). Por el contrario, los datos de Bruschi et al. (2012, 2013), muestran una clara tendencia a la disminución de estos episodios en la región cantábrica (Fig. 24).

En lo referente a la población, a nivel nacional hay un claro incremento, más marcado a partir de los años cincuenta y especialmente en desde 2000 (Figs. 7, 8, 9). En las dos cuencas de estudio también se registra un aumento (con factor de crecimiento 2-3 desde 1950), igualmente intensificado en los años cincuenta pero atenuado a partir de finales de los ochenta (Fig. 25). El Producto Interno Bruto (PIB) ha aumentado en mucha mayor medida, con un factor de crecimiento de aproximadamente 10 desde mitad de siglo (Fig. 12). La población y el PIB son indicadores indirectos del potencial de modificación del territorio por acción humana. Un indicador del grado de cambio real son los usos del territorio, que en las cuencas de estudio muestran un importante aumento del grado de “artificialización” en la segunda mitad del siglo (Figs. 11, 12, 13 (Anexo) y Figura 26).

Las consecuencias de las inundaciones, expresadas en términos de personas damnificadas, muestran una clara tendencia aumento a nivel nacional y en todas las grandes cuencas (Fig. 10), si bien la tendencia no es tan general en el caso de víctimas mortales. Se señala que los datos están normalizados (por 100.000 habitantes), por lo que el dato sugiere un incremento en la gravedad de proceso (frecuencia o magnitud de las inundaciones), no un efecto del aumento de la población. Los datos del CCS sobre indemnizaciones por daños disponibles a partir de 1970, muestran, como era de esperar, tendencias más irregulares (Figs. 12, 14, 15). A grandes rasgos se aprecia una tendencia al aumento a nivel nacional y en la mayoría de las grandes cuencas, pero no en todas ellas. En muchos casos hay un pico marcado a principio de los años ochenta, coincidente con las fuertes lluvias que en esas fechas se produjeron en el N de la Península Ibérica. En las cuencas del Urumea y el Nora se aprecia ese mismo pico, pero mientras que en el primero hay una clara tendencia al aumento con posterioridad, en el segundo las indemnizaciones fueron decrecientes (Fig. 27).

Una primera comparación de los datos anteriormente resumidos, permite aventurar algunas interpretaciones. Parece indudable el aumento de la frecuencia de inundaciones a nivel nacional, desde el inicio del siglo XX y también, aunque menos general, en su segunda mitad, a pesar del gran número de embalses construidos. Ese aumento coincide con una tendencia a la disminución de las precipitaciones anuales (Moreno, 2005), y probablemente también de los episodios de lluvias intensas, aunque esto no está claro. En las dos cuencas analizadas las series de datos son más cortas y las tendencias menos definidas, pero también parece haber una tendencia al aumento de la frecuencia de las inundaciones, con indicadores contradictorios en lo referente a la magnitud de las mismas. También aquí las precipitaciones anuales muestran una

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

tendencia decreciente, y tendencias contradictorias los indicadores de frecuencia de episodios de lluvias intensas. Con el conjunto de los datos descritos no parece que, a nivel nacional, el considerable aumento de la frecuencia de las inundaciones y de los daños causados por ellas pueda explicarse por un aumento en las precipitaciones. Algo similar, pero con bastantes más dudas, parecen indicar los datos de las cuencas de estudio.

Por su parte, los datos de población y PIB muestran a nivel nacional unas pautas de variación que se asemejan mucho a las de la frecuencia de inundaciones (Figs. 4, 7, 11, 12). En el caso de las cuencas de estudio, tanto el aumento de la población como la creciente antropización del territorio, indican un probable aumento de los coeficientes de escorrentía. Aunque estas comparaciones sean meramente cualitativas, sugieren que la modificación humana del territorio parece tener mayor influencia que las precipitaciones sobre el aumento de las inundaciones y, por tanto, en los daños causados por las mismas.

Con el fin de profundizar en el análisis de las relaciones cualitativas descritas, se han llevado a cabo distintas correlaciones entre variables de las cuencas de estudio (Tabla 9 (Anexo)). Para ello se ha calculado el coeficiente de correlación de Pearson.

$$r = \frac{N(\sum x y) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[(N\sum x^2 - (\sum x)^2)][(N\sum y^2 - (\sum y)^2)]}}$$

Los resultados obtenidos deben analizarse con extremada cautela, dadas las diferencias entre la resolución de los distintos datos, la calidad de los mismos y las longitudes de las series.

La frecuencia de inundación y la intensidad de precipitaciones máximas diarias en las cuencas de estudio (Tabla 10, Tabla 10 (bis) (Anexo) y figura 28) muestran valores positivos muy bajos de r , lo que sugiere escasa relación entre ambas series de datos. La comparación de las gráficas entre ambas variables que se muestra en la figura 29, muestra algo similar. En algunos casos las inundaciones coinciden con episodios de alta intensidad de precipitación diaria, pero en otros hay diferencias apreciables.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

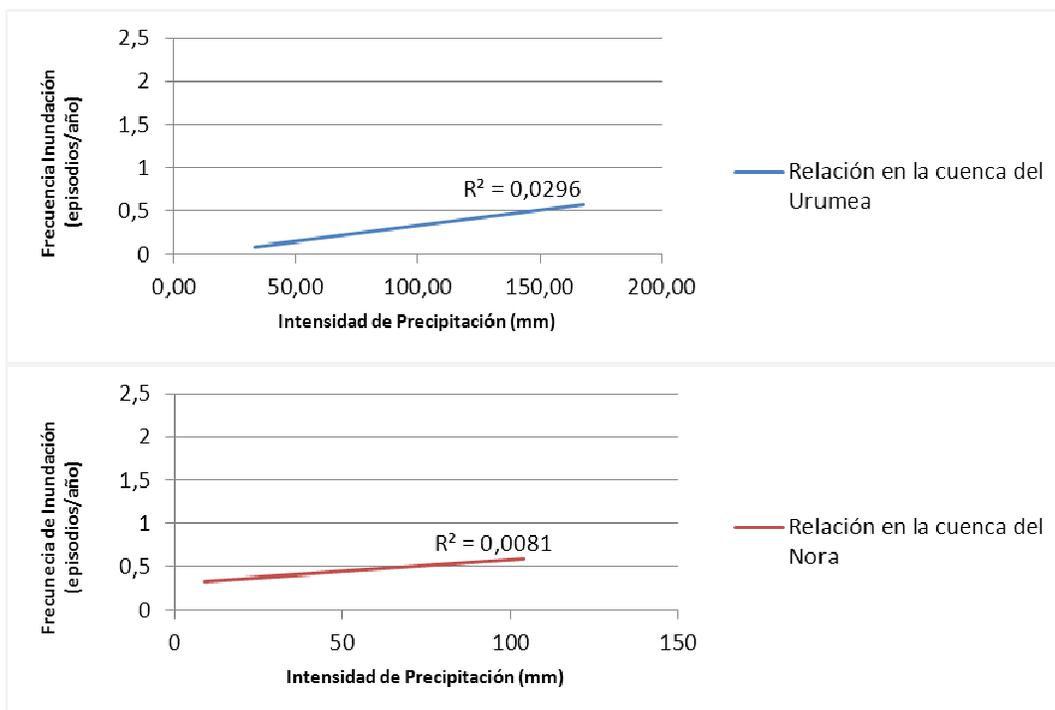


Figura 28. Correlación entre la frecuencia de inundación y la intensidad de precipitación máxima diaria en las cuencas del río Urumea y Nora entre los años 1950 y 2010. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); AEMET (2013).

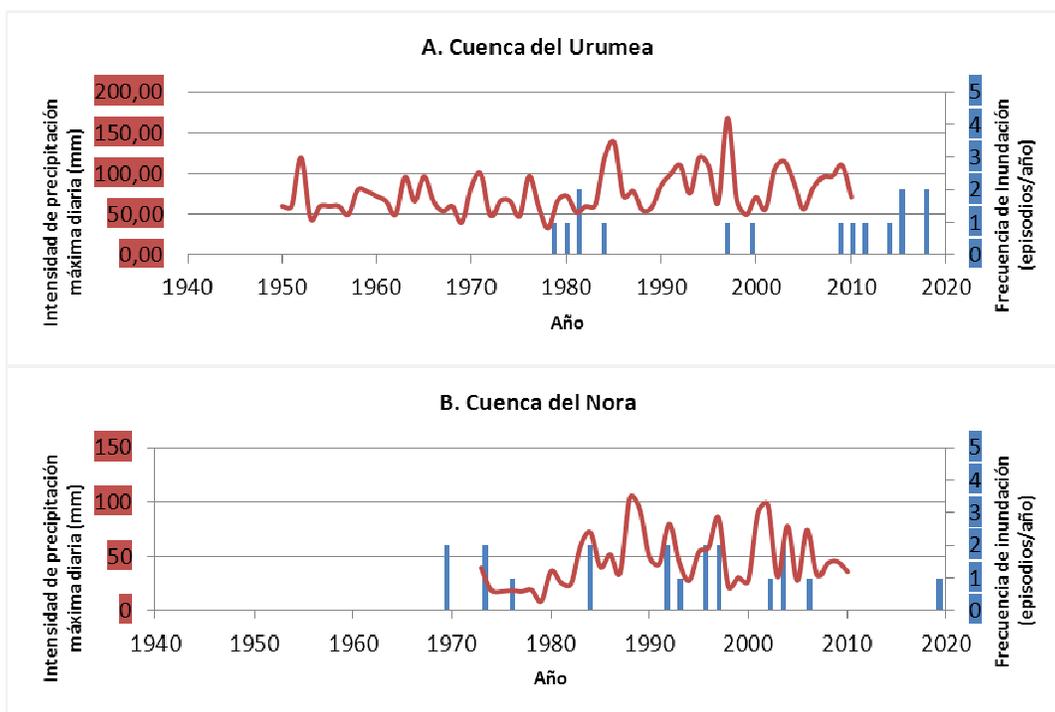


Figura 29. Comparación entre la frecuencia de inundación y la intensidad de precipitación máxima diaria en las cuencas del río Urumea (A) y Nora (B) entre los años 1950 y 2010. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); AEMET (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

La correlación entre caudales máximos instantáneos anuales, y la intensidad de precipitación máxima diaria (Tabla 11, Tabla 11 (bis) (Anexo) y Fig. 30) muestra también valores muy bajos de r , siendo en este caso la relación negativa. Esto, nuevamente, indica escasa relación entre ambas variables. La comparación de las gráficas (Fig. 31) sugiere algo similar. La limitada longitud de las series de datos de la cuenca del Nora hace aún más dudosa la interpretación.

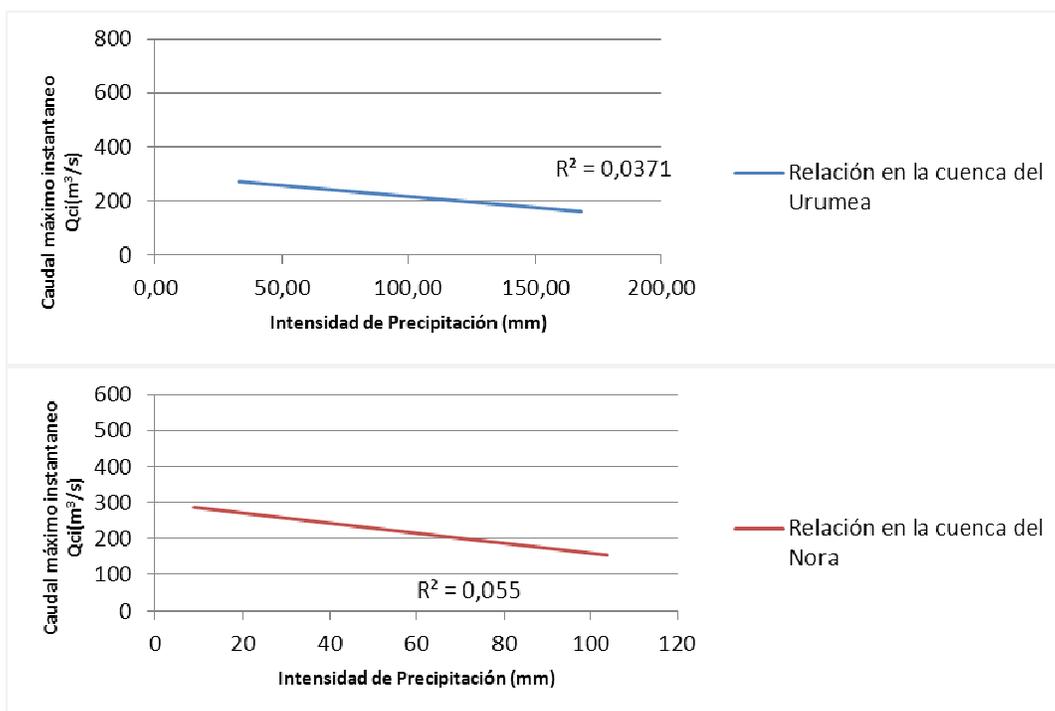


Figura 30. Correlación entre el caudal máximo instantáneo y la intensidad de precipitación máxima diaria en las cuencas del río Urumea y Nora entre los años 1950 y 2010. Fuentes: CEDEX (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

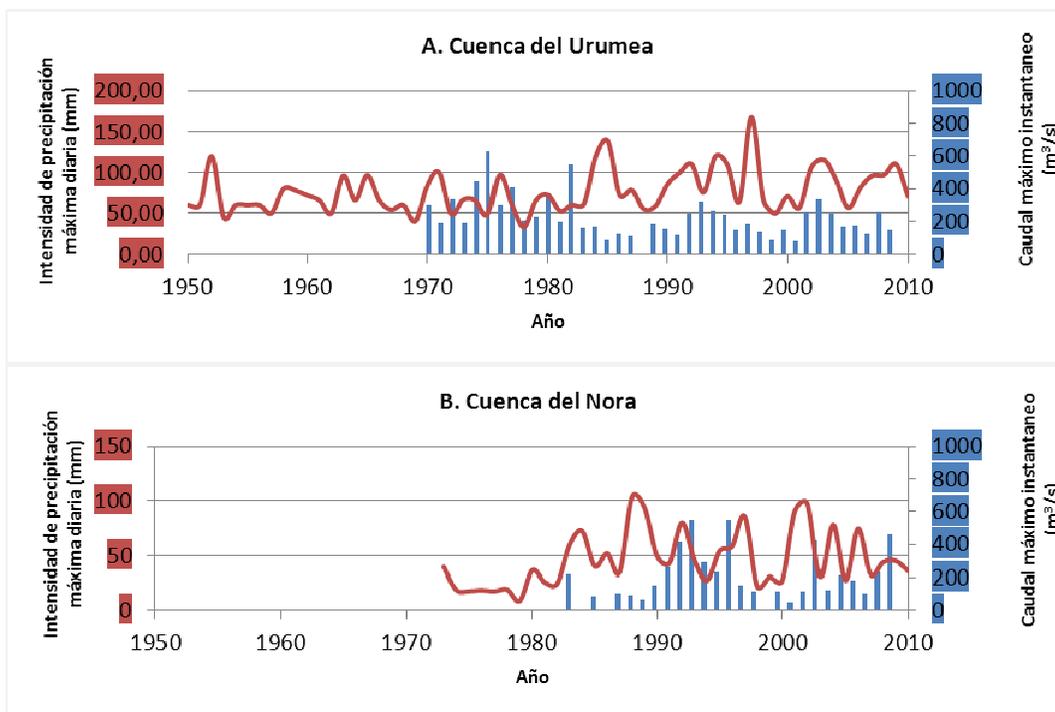


Figura 31. Comparación entre el caudal máximo instantáneo y la intensidad de precipitación máxima diaria en las cuencas del río Urumea (A) y Nora (B) entre los años 1950 y 2010. Fuentes: CEDEX (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

También se han explorado las posibles relaciones entre la superficie antropizada y la frecuencia de las inundaciones (Tabla 12, Tabla 12 (bis) (Anexo) y figura 32), si bien las correlaciones tienen un valor muy limitado, dado el escaso número de años para los que se dispone de datos reales sobre uso del suelo. En este caso se obtienen valores más altos de r , llegando a 0,4 en la cuenca del Urumea. Esto, a primera vista, podría considerarse como una evidencia de cierta relación real entre ambas variables, pero el escaso número de datos, ya mencionado, hace que la validez de esa relación sea cuestionable. La comparación cualitativa entre ambas variables (Fig. 33) muestra esa posible relación, y al mismo tiempo la cautela con la que debe interpretarse.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

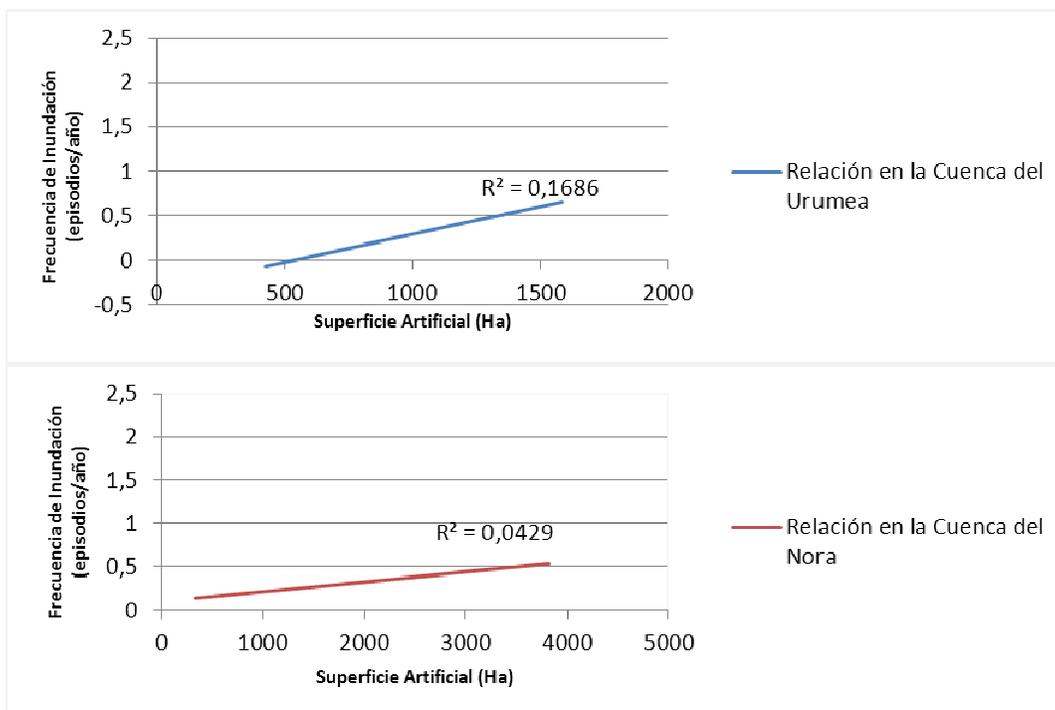


Figura 32. Correlación entre la frecuencia de inundación y la superficie artificial ocupada en las cuencas del río Urumea y Nora entre los años 1950 y 2010. Fuentes: CNHI (DGPC, 2011); IGN (2013).

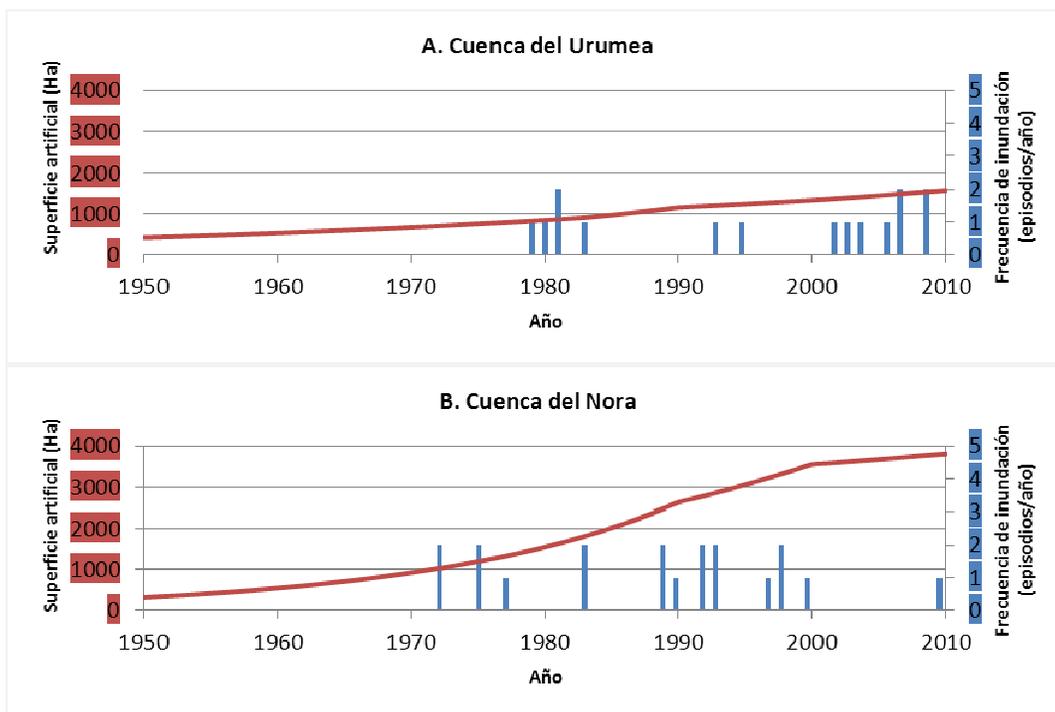


Figura 33. Comparación entre la frecuencia de inundación y la superficie artificial ocupada (datos interpolados) en las cuencas del río Urumea (A) y Nora (B) entre los años 1950 y 2010. Fuentes: CNHI (DGPC, 2011); IGN (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

En lo referente a los caudales máximos instantáneos y las superficies artificiales (Tabla 13, Tabla 13(bis) (Anexo) y figura 34) se han obtenido coeficientes de correlación muy distintos, un valor bastante alto ($r=0,4$) para el Urumea aunque negativo y 0,1 para el Nora. Nuevamente, a primera vista esto parecería sugerir una relación relativamente estrecha en el primer caso (aunque contraria a lo esperable) y muy débil en el segundo. No obstante y por las razones ya apuntadas, eso no está suficientemente sustentado por los datos. La observación de las comparaciones que se muestran en la figura 35 pone eso de manifiesto.

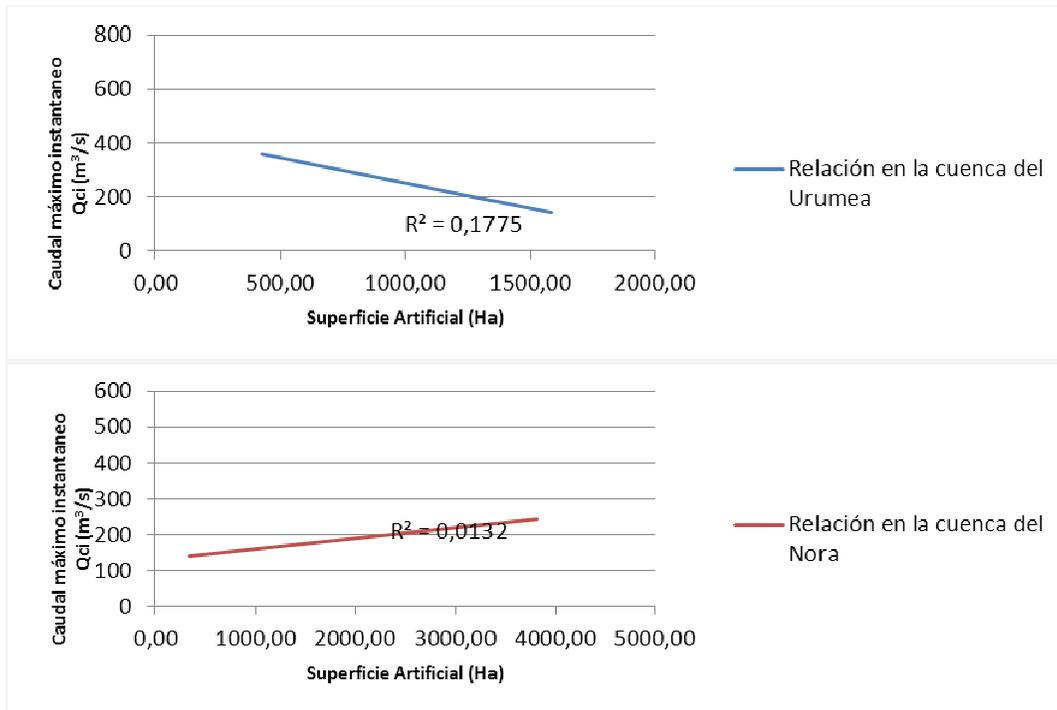


Figura 34. Correlación entre el caudal máximo instantáneo y la superficie artificial ocupada en las cuencas del río Urumea y Nora entre los años 1950 y 2010. Fuentes: CEMEX (MAGRAMA, 2013); IGN (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

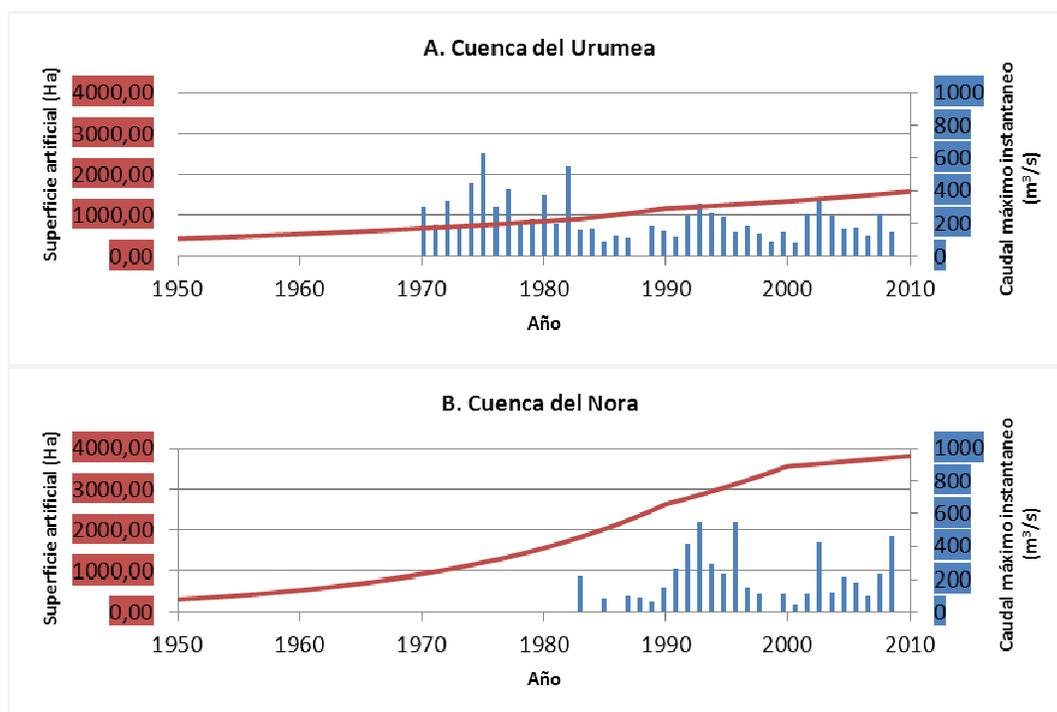


Figura 35. Comparación entre el caudal máximo instantáneo y la superficie artificial ocupada (datos interpolados) en las cuencas del río Urumea (A) y Nora (B) entre los años 1950 y 2010. Fuentes: CEMEX (MAGRAMA, 2013); IGN (2013).

Finalmente, se ha hecho una comparación entre las indemnizaciones satisfechas por el CCS y dos variables, que indirectamente pueden influir en las mismas (a través de su influencia en la frecuencia o magnitud de las inundaciones, y en el valor de los bienes expuestos), la intensidad de las precipitaciones (Fig. 36) y la superficie artificial (Fig. 37) en las cuencas. Dadas las limitaciones de los datos obtenidos y el carácter indirecto de las posibles relaciones, se ha preferido limitarse a las comparaciones cualitativas. La observación de ambas figuras pone de manifiesto una escasa relación entre ambos pares de variables (al menos con los datos hasta ahora obtenidos). Si acaso y como era lógico esperar aunque solamente fuera por el aumento de la exposición, parece existir un cierto (limitado) paralelismo entre la superficie artificial y la cuantía de los daños.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

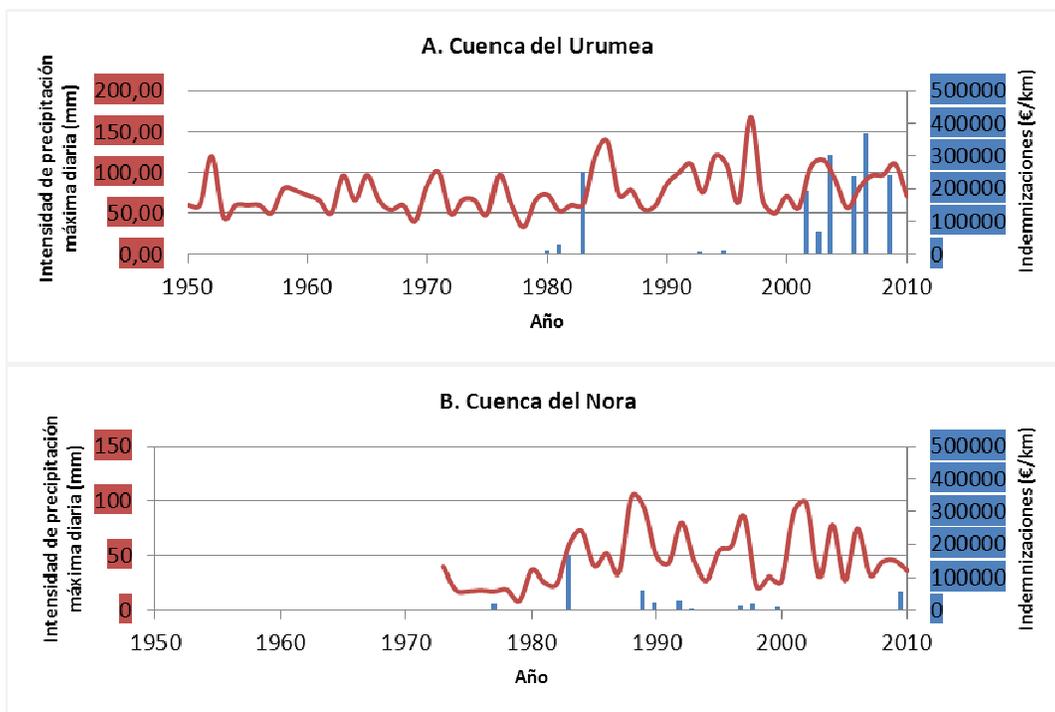


Figura 36. Comparación entre las indemnizaciones por kilómetro de río y la intensidad de precipitación en las cuencas del río Urumea (A) y Nora (B) entre los años 1950 y 2010. Fuentes: CCS (2012); AEMET (2013).

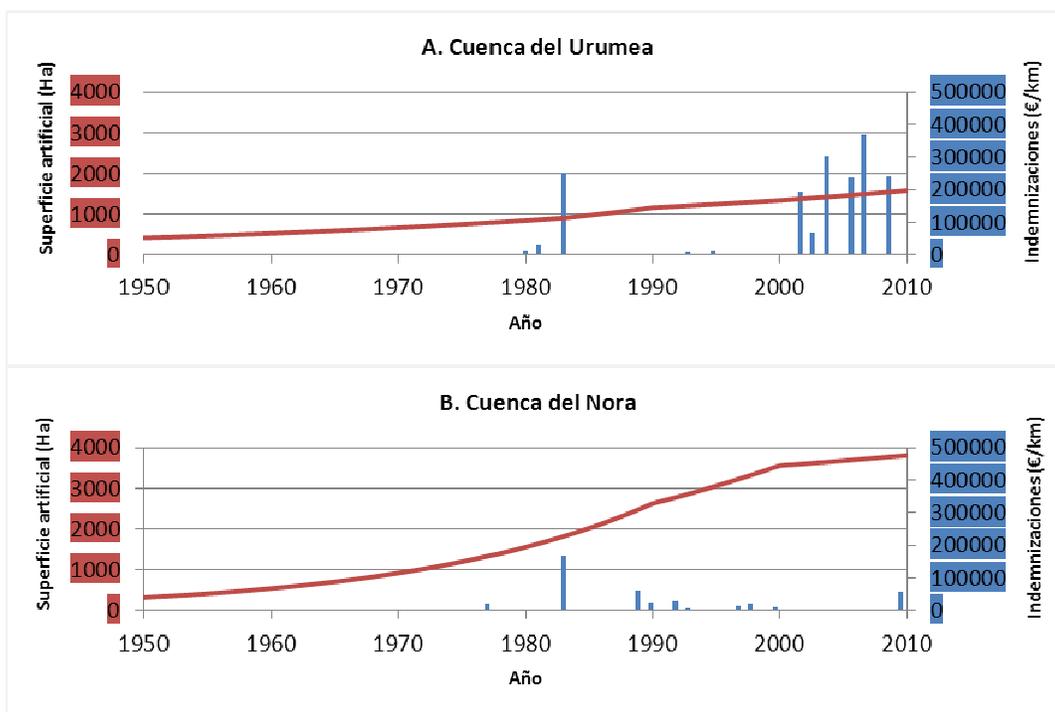


Figura 37. Comparación entre las indemnizaciones por kilómetro de río y la superficie artificial ocupada (datos interpolados) en las cuencas del río Urumea (A) y Nora (B) entre los años 1950 y 2010. Fuentes: CCS (2012); IGN (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

A modo de recapitulación de los resultados presentados, se puede señalar que, bien sea a nivel nacional o de cuencas locales, los datos obtenidos a lo largo de este trabajo no indican que exista una relación significativa entre las tendencias de variación en la frecuencia de las inundaciones, los indicadores indirectos de la magnitud de estas y los daños ocasionados por las mismas, por un lado, y las tendencias de variación de las precipitaciones, por otro lado. También a ambos niveles parece existir una mayor relación entre los indicadores utilizados para expresar el la capacidad de modificación del territorio por los seres humanos (población, PIB) o la modificación real de este (usos del suelo), y la frecuencia o magnitud de las inundaciones. Sin embargo, los datos que se han podido obtener dentro del marco de este trabajo de fin de master (lógicamente, limitados) son en parte contradictorios y no permiten establecer conclusiones firmes, dejando bastantes interrogantes abiertos.

7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Los datos obtenidos para este trabajo muestran que a lo largo de los últimos siglos se ha producido un incremento de la frecuencia de las inundaciones en el conjunto de la España peninsular y en la mayoría de las grandes cuencas. Esto, por supuesto puede ser en parte aparente, debido a una más completa recopilación de datos en tiempos recientes. Dentro del siglo XX, para el cual los datos son en principio más fiables, también se ha observado una tendencia general creciente, con inundaciones más frecuentes en la segunda mitad del siglo en casi todas las cuencas. Esto es especialmente notable si se tiene en cuenta la gran cantidad de embalses construidos en ese periodo, que deberían haber contribuido a mitigar las inundaciones.

También, y como era de esperar, se han incrementado los daños producidos en la mayoría de cuencas, tanto económicos como humanos (muertes y evacuados). Si se tiene en cuenta que los datos anteriores se han normalizado (por 100.000 habitantes) esto sugiere, más que un aumento de la exposición al proceso, una mayor frecuencia o magnitud del mismo.

Los datos sobre precipitaciones que se han obtenido para las distintas cuencas no muestran una variación que pueda explicar las tendencias citadas. No obstante, esto requiere un análisis más detallado, ya que el indicador de frecuencia de los episodios de lluvias intensas que se ha utilizado es un grosero “proxy”. Por otro lado, la variación de la población y del PIB registrados a nivel nacional desde principio del siglo XX, muestran tendencias “grosso modo” similares a las de las inundaciones y los daños causados por estas, lo que es coherente con una posible influencia de la creciente modificación humana del territorio sobre la frecuencia/magnitud de estos procesos. Nuevamente, aunque la interpretación sea razonable, los datos no son suficientes para afirmar eso de manera firme y debe tomarse con suma cautela.

Los análisis algo más detallados realizados en las cuencas de los ríos Urumea y Nora, aunque cubren menos de 50 años, muestran también una frecuencia algo mayor de las inundaciones en la segunda mitad del periodo que abarcan los datos. Los caudales de ambos ríos, por otro lado, muestran tendencias contradictorias. La tendencia general de las precipitaciones en el Cantábrico y en las estaciones próximas a dichas cuencas es, en conjunto, decreciente, si bien los indicadores de frecuencia de las lluvias intensas que se han utilizado muestran tendencias contradictorias en algún caso. En ambas cuencas los indicadores indirectos (población) y directos (cambios de uso del suelo) de la intensidad de la modificación del territorio muestran tendencias claramente crecientes. Todo ello sugiere una relación más probable entre alteración de las cuencas y tendencia al aumento de las inundaciones que entre ésta y la tendencia de variación de las

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

precipitaciones. Si se tiene en cuenta que en ambas cuencas se han construido presas en el periodo cubierto por el análisis, esto parecería aún más probable.

El conjunto de los datos obtenidos y las comparaciones y correlaciones realizadas, apuntan en mayor medida hacia la confirmación que hacia el rechazo de la hipótesis de trabajo presentada. Esto es, que el aumento en la frecuencia y consecuencias de las inundaciones obedecería más a la modificación de la superficie terrestre que a variaciones en el régimen de precipitaciones. No obstante, esto no puede afirmarse de manera clara a partir de los resultados que aquí se presentan, sobre todo porque los datos (muy especialmente los relativos a frecuencia e intensidad de los episodios de fuertes lluvias y a los caudales de los ríos y magnitud de las inundaciones, pero también los relativos a los cambios de uso del territorio) son insuficientes o no tienen la debida resolución.

A la vista de los resultados obtenidos, se pueden sugerir algunas líneas de trabajo que ayudarían a avanzar en la confirmación o rechazo de la hipótesis propuesta, y que evidentemente exceden con mucho lo que se puede abordar en un trabajo de fin de máster. Una de las líneas que se sugiere es seleccionar dos cuencas de tamaño pequeño-medio (cientos-algunos miles de km²), para las cuales haya series largas y de calidad (deseablemente con datos diarios) sobre frecuencia y magnitud de inundaciones, caudales y precipitaciones. Convendría que una de dichas cuencas haya experimentado fuertes transformaciones en el periodo de análisis (deseable cubrir al menos 60 años) y otra haya sufrido escasas modificaciones. Para ambas cuencas, acudiendo a fotografías aéreas e imágenes de satélite, se podrían elaborar mapas de usos para el número más elevado de fechas que sea posible (tal vez desde los años 40, pero más probablemente desde los 50). Igualmente sería conveniente obtener datos sobre los daños experimentados, a nivel municipal. Con todo ello, se podrían realizar correlaciones más fiables y robustas que las aquí presentadas.

En segundo lugar, sería conveniente analizar dos de las grandes cuencas españolas (a la luz de los datos obtenidos, parecen adecuadas la del N y la del Guadiana, con marcada tendencia al aumento de las inundaciones, y las del Duero y Segura, que muestran tendencia contraria) y llevar a cabo análisis similares. En este caso, el análisis de los cambios de uso del suelo habría de hacerse a partir de imágenes de satélite y difícilmente se remontaría más allá de mediados de los setenta. Se debería intentar, complementariamente, obtener datos indirectos sobre el uso del suelo a partir de estadísticas agrícolas y forestales o sobre el número de viviendas construidas. A esta escala es posible, en principio, obtener datos de población y PIB a nivel provincial, lo que permitiría analizar la evolución de esas variables para el conjunto de las cuencas.

Lo anterior debería complementarse con un análisis sistemático de la literatura, para identificar trabajos realizados en distintos lugares del mundo, y obtener datos adicionales que permitan hacer comparaciones y ayuden a dar un mayor grado de generalidad a los resultados.

Estas líneas, y otras que pudieran identificarse en el curso de ese hipotético trabajo, contribuirían a dilucidar si realmente existe un cambio geomorfológico global que pudiera ser una de las características del Antropoceno y que podría proporcionar un criterio para definir el inicio del mismo.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

AGRADECIMIENTOS

Con cariño a todas las personas que han contribuido a que este trabajo se pudiera realizar. En especial al Dr. Antonio Cendrero Uceda, como director de este trabajo, por su apoyo incondicional y su especial atención en el desarrollo de la forma y contenido que se representa en este documento, así como por su aportación didáctica para la elaboración del mismo. También, mi agradecimiento al conjunto de docentes que han contribuido a una mejor comprensión de las herramientas empleadas en el análisis y del conocimiento de los procesos que se describen; Prof. Alberto González, Prof. Enrique Francés, Prof. Jaime Bonachea, Prof. José Ramón Díaz de Terán, Prof. Juan Remondo, y Prof. Viola Bruschi, así como al apoyo técnico e instrumental de la Universidad de Cantabria y la ayuda de la AEMET, que proporcionó datos valorados en 561,79€. Por último, pero no menos importante, quiero dedicar unas palabras de afecto hacia las compañeras y compañeros que han compartido conmigo tantas horas de complicidad y apoyo, y con las cuales he tenido la oportunidad de compartir amistad y conocimientos; Alejandra, Cristina, Gema, Germán, Pilar, Susana y Verónica.

Esta línea está dedicada a las personas que me quieren y apoyan día a día.

Referencias Bibliográficas

- Barciela, C., Carreras, A., Comin, F., Díaz, D., Giráldez, J., Gómez, A., Jordana, J., J.Linz, J., Llonch, M., López, I., Maluquer de Motes, J., Martín, P., Montero, J.R., Nicolau, R., Núñez, C.E., Pons, M.A., Prados de la Escosra, L., Ramió, C., Roses, J., María Ruiz, A., Sáiz, J.P., San Román, E., Tafunell, X., Tena, A., 2005. Estadísticas Históricas de España: Siglos XIX-XX. Fundación BBVA, ed.,1: pp. 54-64.
- Barredo, J.I., Saurí, D., Llasat, M.C., 2012. Assessing trends in insured losses from floods in Spain 1971–2008. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12: pp. 1723–1729. DOI: 10.5194/nhess-12-1723-2012.
- Bonachea, J., Bruschi, V., Hurtado, M., Forte, L., da Silva, M., Etcheverry, R., Cavallotto, J.L., Dantas, F. M., Pejon, O., Zuquette, L., Bezerra, M., Remondo, J., Rivas, V., Gómez-Arozamena, J., Fernández, G. y Cendrero, A., 2010. Natural and human forcing in recent geomorphic change; case studies in the Río de la Plata basin”. *Science of the Total Environment* (ISSN 0048-9697), 408 (13): pp. 2674 – 2695.
- Brath, A., Montanari, A. y Moretti, G., 2006. Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation (with uncertainty). *Journal of Hydrology*, 324: pp. 141-153.
- Brierly, G.J. y Stankoviansky, M.(eds.), 2003. Special Issue Geomorphic Responses to Land Use Changes. *Catena*, 51 (2-3): pp. 173-347.
- Brown, H. 1956. Technological denudation. In: Thomas, W.L. (ed.)- *Man's role in changing the face of the Earth*. Chicago: University of Chicago Press. pp. 1023-1032.
- Brunsdon, D. & Thornes, J.B., 1979. Landscape sensitivity and change. *Institute of British Geographers Transactions*, 4, pp. 463-484.
- Brunsdon, D., 2001. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. *Catena*, 42: pp. 99-123.
- Bruschi, V.M., Bonachea, J., Remondo, J., Gómez-Arozamena, Rivas, V., Méndez, G., Naredo, J.M., Cendrero, A., 2012 (in press). Analysis of geomorphic systems' response to natural and human drivers in northern Spain: Implications for global geomorphic change, *Geomorphology*. DOI:10.1016/j.geomorph.2012.03.017.
- Bruschi, V.M., Bonachea, J., Remondo, J., Gómez-Arozamena, Rivas, V., Barbieri, M., Capochi, S., Soldati, M., Cendrero, A., 2013a (submitted). Human versus natural factors in land instability; case studies in N Spain. *Environmental Management*.
- Bruschi, V., J. Bonachea, J. Remondo, L.M. Forte, M. Hurtado, A. Cendrero. 2013b. El cambio global y el Antropoceno, más allá del clima. *ConCIENCIAS*, 11; 84-99.
- Cendrero, A. y Douglas, I., 1996. Earth surface processes, materials use and urban development; project aims and methodological approach. Abstracts with programs 28(7), GSA Annual Meeting, Denver: A-79.
- Cendrero, A, Remondo, J, Rivas, V., 2005. Influencia humana sobre los procesos geológicos superficiales; consecuencias ambientales. In: Naredo JM, Gutiérrez L, editors. *La incidencia de la especie humana sobre la faz de la Tierra (1955-2005)*. Granada:Universidad de Granada - Fundación César Manrique; 2005. pp. 261-306.
- Cendrero, A., Remondo, J., Bonachea, J., Rivas, V. & Soto, J., 2006. Sensitivity of landscape evolution and geomorphic processes to direct and indirect human influence. *Geografía Física e Geodinámica Cuaternaria*, 29: pp. 125-37.
- Crutzen, P.J. 2002. Geology of mankind: the Anthropocene. *Nature* 415, pp. 23.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

- DGPC (Dirección General de Protección Civil y Emergencias), 2011. Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (Actualización). Ministerio del Interior. Secretaría General Técnica. NIPO en línea: 126-11-150-1.
- Dunne, T. & Leopold, L B., 1978. *Water in Environmental Planning*. Freeman, New York, 818 pp.
- Essenwanger, O. M., 2001: *Classification of Climates, World Survey of Climatology 1C, General Climatology*. Elsevier, Amsterdam, 102 pp.
- Forstall R.L., Greene R.P., Pick J.B., 2009. Which are the largest? Why lists of major urban areas vary so greatly. *Tijdschr Econo Soc Geogr*, 100: pp. 277-297.
- Forte, L.M., 2011. Análisis de las tendencias de variación en las tasas de actividad de los procesos geomorfológicos y de sus implicaciones para los riesgos naturales. Trabajo Final de Máster. Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Universidad de Cantabria.
- Fuller, C.C., Van Geen, A., Bastaran, M., Anima, R., 1999. Sediment chronology in San Francisco Bay, California, defined by ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{137}Cs and $^{239,240}\text{Pu}$. *Mar Chem*; 64(1-2): pp. 7-27.
- Gellis, A.C., Ellevein, A., Aby, S., Pavich, M.J., Bierman, P.R., Clapp, E.M., 2004. Modern sediment yield compared to geologic rates of sediment production in a semi-arid basin; New México: assessing the human impact. *Earth Surf Proc Land*, 28(11): pp. 1359-1372.
- Godoy, J.M., Padovani, C.R., Guimarães, J.R.D., Pereira, J.C.A., Vieira, L.M., Carvalho, Z.L., Galdino, S., 2002. Evaluation of the siltation of River Taquari, Pantanal, Brazil, through ^{210}Pb geochronology of floodplain lake sediments. *J Braz Chem Soc* 2002: 13(1): pp. 71-7.
- Goklany, I.M., 2009. Deaths and death rates from extreme weather events: 1900-2008. *Journal of American Physicians and Surgeons*, 14 (4). Tesis Ph.D.
- Goudie, A., 1995. *The Changing Earth. Rates of geomorphological processes*. Oxford: Blackwell.
- Graf, W., 2006. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, 79: pp. 336-360.
- Herget, J. y Meurs, H., 2010. Reconstructing peak discharges for historic flood in city of Cologne, Germany. *Global and Planetary Change*, 70: pp. 108-116.
- Hibbard, K. A., Crutzen, P. J., Lambin, E. F., Liverman, D., Mantua, N. J., McNeill, J. R., Messerli, B. & Steffen, W., 2006. Decadal interactions of humans and the environment. In *Integrated history and future of people on Earth* (eds R. Costanza, L. Graumlich & W. Steffen), pp. 341-375. Dahlem Workshop Report 96. Boston, MA: MIT Press.
- Hoekstra, A.Y., 2003. Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, IHE Delft, the Netherlands.
- Hooke, R.L., 1999. Spatial distribution of human geomorphic activity in the United States: comparison with rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: pp. 687-692.
- Hurtado, M., Forte, L.M., Bruschi, V.M., Bonachea, J., Rivas, V., Gómez Arozamena, J., Dantas Ferreira, M., Remondo, J., González, A., Díaz de Terán, J.R., Salas, L. y Cendrero, A., 2012. The Geomorphic Dimension of Global Change. Risks and Opportunities. En: *Avances de la Geomorfología en España, 2010-2012*. (A. González, Ed.) SEG-Publican: 18-23.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e
identificación de los factores determinantes.

- Judson, S., 1983. Erosion of the land, what's happening to our continents? In: Tank RW, editor. Environmental geology. New York: Oxford Univ. Press; pp. 184-97.
- Jun Tu, Heshen Wang, Zifan Zhang, Xin Jin Wenqing Li, 2005. Trends in chemical composition of precipitation in Nanjing, China, during 1992-2003. Atmospheric Research, 73: pp. 283-298.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, 15 (3): pp. 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.
- Magilligan, F.J.T., Nislowb, K H., 2006. Changes in hydrologic regime by dams. Geomorphology, 71: pp. 61-78.
- Marsh, G.P., 1877. The Earth as modified by human action (a new edition of Man and Nature Edited by David Lowenthal). Seattle. University of Washington Press. 472 pp.
- Moreno, J.M., 2005. Evaluación preliminar de los impactos por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Owens, P.N. y Walling, D.E., 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: pp. 403-423.
- 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: pp. 135-147.
- Petrow, T. y Merz, B., 2009. Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951-2002. Journal of Hydrology, 371: pp. 129-141.
- Poulos, S.E., Collins, M.B., 2002. Fluvial sediment fluxes to the Mediterranean Sea: a quantitative approach and the influence of dams. Geological Society of London, 191: pp. 227-245.
- Prados de la Escosura, L., 2003. El progreso económico de España, 1850-2000, Madrid: Fundación BBVA.
- Ramos-Scharrón, C.E. y Mac Donald, L.H., 2007. Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources, St. John, U.S. Virgin Islands. Catena, 71: pp.
- Remondo, J, Bonachea, J. Cendrero, A., 2005a. Landslide risk modelling at basin scale; from susceptibility to quantitative risk assessment. Landslides, 2: pp. 321-328.
- Remondo, J., González-Diez, A., Soto, J., Díaz de Terán, J.R., Cendrero, A., 2005b. Human impact on geomorphic processes and hazards in mountain areas. Geomorphology, 66: pp. 69-84.
- Rivas, V., Cendrero, A., Hurtado, M., Cabral, M., Giménez, J., Forte, L., del Río, L., Cantú, M. y Becker, A., 2006. Geomorphic consequences of urban development and mining activities; an analysis of study areas in Spain and Argentina. Geomorphology, 73 (3-4): pp. 185-206.
- Ruiz-Fernández, A.C., Páez-Osuna, F., Urrutia-Fucugauchi, J., Preda, M., 2005. 210 Pb geochronology of sediment accumulation rates in México City Metropolitan Zone as recorded at Espejo de los Lirios lake sediments. Catena;61: pp. 31-48.
- San Miguel, E.G., Bolívar, J.P., García-Tenorio, R., 2004. Vertical distribution of Th-isotope ratios, 210Pb, 226Ra and 137Cs in sediment cores from an estuary affected by anthropogenic releases. Sci Total Environ; 318 (1-3): pp. 143-57.
- Sanchez, J.A., 1999. Economía y finanzas en la guerra civil española (1936-1939). Real Academia de la Historia. pp. 95-100.
- Sarubbi, A., Pittau, M.G., Menéndez, A.N., 2004. Delta del Paraná: Balance de Sedimentos. Informe LHA 02-235-04. INA. Buenos Aires, Argentina.
- Sarubbi, A., Pittau, M.G., Menéndez, A.N., 2006. Delta del Paraná: avance del frente e incremento areal. INA. Proyecto LHA 235 Informe LHA 05-235-06. INA. Buenos Aires, Argentina.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

- Saurral, R.I., Barros, V.R., Lettenmaier, D.P., 2008. Land use impact on the Uruguay River discharge. *Geophys Res Lett* 2008;35:L12401. doi:10.1029/2008GL033707.
- Slaymaker, O., Spencer, T., Embleton-Hamann, C., (eds), 2009. *Geomorphology and global environmental change*. Cambridge U. Press, Cambridge.
- Steffen, W., Crutzen, P.J., McNeill, J.R., 2007. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of Nature? *Ambio*, 36: pp. 614-621.
- Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P. J., McNeill, J. R., 2011. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 369: pp. 842-867.
- Stevaux, J.C., Martins, D.P., Meurer, M., 2009a. 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.
- Stevaux, J., Latrubesse, E., Hermann, M., Aquino, S., 2009b. Floods in Urban Areas of Brazil. In: *Developments in Earth Surface processes. "Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America"*, 13: pp. 245-266.
- Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C.J. y Kettner, A.J., Green P., 2005. Impacts of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308: pp. 376-380.
- Syvitski, J. P. & Milliman, J. D., 2007. Geography, and humans battle for dominance over the delivery of fluvial sediment to the coastal ocean". *The Journal of Geology*, 115: pp. 1-19.
- Ter-Stepanian, G., 1998. Beginning of the technogene. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. Vol 38.1: pp. 133-142.
- Thomas, W.L. (ed), 1956. *Man's role in changing the face of the Earth*. The University of Chicago Press, Chicago, 1236 pp.
- Trimble, S.W., 1997. Contribution of stream channel erosion to sediment yield from an urbanizing watershed. *Science*, 278: pp. 1442-1444.
- Tucci, C.E.M., Clarke, R.T., 1998. Environmental issues in the La Plata basin. *Water Resour Dev*;14: pp. 157-74.
- Wackernagel, M. & Rees, W. 1996. *Our ecological footprint; reducing human impact on the earth*. New Society Publishers, Canadá.
- Wheater, H. y Evans, E., 2009. Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy* 265: pp. 5251-5264.
- Wolman, M.G. y Schick, A.P., 1967. Effects of construction on fluvial sediment, urban and suburban areas of Maryland. *Water Resources Research*, 3 (2): pp. 451-464.
- Xu, K., Milliman, J.D., 2009. Seasonal variations of sediment discharge from the Yangtze River before and after impoundment of the Three George Dam. *Geomorphology*, 104: pp. 276-283.
- Yang, S.L., Milliman, S.D., Li, P., Xu, K., 2011. 50.000 dams later: Erosion of the Yangtze River and its delta". *Global and Planetary Change*, 75 (1-2): pp. 14-20.

Páginas web consultadas

- AEMET (Agencia Estatal de Meteorología), 2005. *Calendario Meteorológico 2006*. Disponible en: http://www.aemet.es/documentos_d/conocermas/biblioteca/calendarios/cm-2006.pdf. ISBN: 84-8320-323-5. Última consulta 24/06/2013.
- AEMET (Agencia Estatal de Meteorología), 2013a. *Atlas Climático Ibérico*. Disponible en: <http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/publicaciones/Atlas-climatologico/Atlas.pdf>. Última consulta 24/06/2013.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

- AEMET (Agencia Estatal de Meteorología), 2013. Base de datos disponible en www.aemet.es. Última consulta 24/06/2013.
- Balter, M., 2013. Archaeologists Say the ‘Anthropocene’ Is Here—But It Began Long Ago. *Science*, 340 (6130): pp. 261-262. DOI: 10.1126/science.340.6130.261. Última consulta 25/06/2013.
- Bayliss, A.C., Reed; D.W., 2001. The use of historical data in flood frequency estimation. Centre for Ecology and Hydrology. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food and the Natural Environment Research Council (MAFF). Wallingford, 87pp. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/8060>. Última consulta 25/06/2013.
- Bolt, J., Luiten, J., 2013. Maddison-Project Working Paper WP-4. Disponible en: <http://www.ggd.net/maddison/maddison-project/home.htm>. Última consulta 24/06/2013.
- Bouwer, L.M., 2011. Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change? *Bull. American Meteorological Society*, 92: pp. 39–46. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/2010BAMS3092.1>. Última consulta: 24/06/2013.
- CCS (Consortio de Compensación de Seguros), 2012. Estadística de Riesgos Extraordinarios 1971-2011. Ministerio de Economía y Competitividad. Disponible en: http://www.conorseguros.es/c/document_library/get_file?uuid=548d4f59-b6c5-40dd-b06b-98dbcefd790f&groupId=10124. Última consulta 24/06/2013.
- EM-DAT. The OFDA (Office of Foreign Disaster Assistance)/CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) International Disaster Database. Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponible en: <http://www.emdat.net>. Datos descargados Abril, 2013.
- IDE de Euskadi (Infraestructura de Datos Espaciales de Euskadi), 2013. <http://b5m.gipuzkoa.net/web5000/>. Última consulta 10/07/2013.
- IEN (Instituto de Estadística de Navarra), 2013. <http://www.navarra.es/AppsExt/GN.InstitutoEstadistica.Web/consulta.aspx?TC=3>. Datos descargados Mayo, 2013.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional), 2013. Centro Nacional de Información Geográfica. Ministerio de Fomento. Disponible en: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/inicio.do>. Última consulta 24/06/2013.
- INE (Instituto Nacional de Estadística), 2013. Disponible en: www.ine.es. Datos descargados Enero, 2013.
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), 2011. Anuario de Estadística 2011. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/estadistica/pags/anuario/2011/AE_2011_completo.pdf. NIPO: 280-12-128-5. Última consulta 25/06/2013.
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), 2013. Confederaciones Hidrográficas, 2013. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/funciones-estructura/organizacion-organismos/organismos-publicos/confederaciones-hidrograficas/>. Última consulta 24/06/2013.
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), 2013. Sistema Integrado de Información del Agua (SIA). Disponible en: <http://servicios2.magrama.es/sia/visualizacion/descargas/documentos.jsp>. Última consulta 24/06/2013.
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente), 2013. Anuario de Aforos 2009-2010. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Disponible en: <http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>. Última consulta 24/06/2013.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la Fundación Ramón Areces, 2008. Simposio Internacional: análisis crítico del cambio climático, una perspectiva científica. Disponible en: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00455.pdf>. Última consulta 25/06/2013.

SEPREM (Sociedad Española de Presas y Embalses), 2013. Inventario de presas en España. Disponible en: <http://www.seprem.es/presases.php>. Datos descargados Marzo, 2013.

Swiss Re, 2013. Disponible en: <http://www.swissre.com/>. Última consulta 25/06/2013.

UNISDR (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction), 2012. The International Disaster and Risk Conferences, 2012. Global Risk Forum Davos. 4th International Disaster and Risk Conference IDRC Davos 2012. Disponible en: www.idrc.info. Última consulta 25/06/2013.

ANEXOS

ANEXOS

1. TABLAS

Río	Nº Inundaciones 181 AC-2010	Nº/año	Nº Inundaciones 1900-2010	Nº/año	Nº Inundaciones 1950-2010	Nº/año	Factor de aumento 1950-2010/1900-2010
Nora	18	0,01	17	0,15	17	0,28	1,82
Cea	32	0,01	31	0,28	28	0,46	1,64
Nalon	28	0,01	20	0,18	18	0,30	1,64
Ega	26	0,01	19	0,17	16	0,26	1,53
Valderaduey	37	0,02	36	0,32	30	0,49	1,52
Queiles	31	0,01	12	0,11	10	0,16	1,52
Alhama	25	0,01	24	0,22	20	0,33	1,52
Guadiana	141	0,06	117	1,05	97	1,59	1,51
Oria	28	0,01	17	0,15	14	0,23	1,50
Sequillo	34	0,02	27	0,24	22	0,36	1,48
Arga	39	0,02	32	0,29	26	0,43	1,48
Miño	44	0,02	42	0,38	34	0,56	1,47
Cinca	30	0,01	21	0,19	17	0,28	1,47
Aragon	44	0,02	31	0,28	24	0,39	1,41
Urumea	21	0,01	20	0,18	15	0,25	1,36
Jiloca	40	0,02	37	0,33	27	0,44	1,33
Pisuerga	109	0,05	55	0,50	40	0,66	1,32
Turia	64	0,03	7	0,06	5	0,08	1,30
Segre	57	0,03	17	0,15	12	0,20	1,28
Jucar	96	0,04	20	0,18	14	0,23	1,27
Almanzora	25	0,01	13	0,12	9	0,15	1,26
Orbigo	45	0,02	41	0,37	28	0,46	1,24
Tormes	47	0,02	26	0,23	17	0,28	1,19
Nervion	47	0,02	20	0,18	13	0,21	1,18
Jarama	40	0,02	20	0,18	13	0,21	1,18
Esla	51	0,02	44	0,40	28	0,46	1,16
Carrion	30	0,01	26	0,23	16	0,26	1,12
Guadaira	29	0,01	13	0,12	8	0,13	1,12
Duero	162	0,07	82	0,74	49	0,80	1,09
Guadalquivir	320	0,15	70	0,63	41	0,67	1,07
Esgueva	49	0,02	24	0,22	14	0,23	1,06
Alberche	25	0,01	19	0,17	11	0,18	1,05
Genil	89	0,04	43	0,39	24	0,39	1,02
Agueda	27	0,01	23	0,21	12	0,20	0,95
Darro	27	0,01	4	0,04	2	0,03	0,91
Jalon	43	0,02	35	0,32	17	0,28	0,88
Arlanzon	33	0,02	21	0,19	10	0,16	0,87
Ebro	250	0,11	134	1,21	54	0,89	0,73
Gallego	51	0,02	37	0,33	14	0,23	0,69
Tajo	123	0,06	50	0,45	18	0,30	0,66
Segura	197	0,09	73	0,66	13	0,21	0,32
Guadalentin	98	0,04	26	0,23	4	0,07	0,28
Guadalmedina	43	0,02	9	0,08	1	0,02	0,20

Tabla 1. Número de episodios de inundación registrados en los diferentes ríos españoles en tres periodos diferentes, y frecuencia anual para cada uno de los periodos. En la última columna se muestra el factor de aumento del periodo post 1950 con respecto a 1900-2010. Fuente: Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (DGPC, 2011).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Provincia	Nº Inundaciones 181 AC-2010	Nº/año	Nº Inundaciones 1900-2010	Nº/año	Nº Inundaciones 1950-2010	Nº/año	Factor de aumento 1950-2010/1950-2010
Asturias	420	0,19	400	3,60	390	6,3934	2
Zamora	474	0,22	413	3,72	361	5,918	2
Lugo	251	0,11	250	2,25	248	4,0656	2
Badajoz	270	0,12	249	2,24	224	3,6721	2
Leon	202	0,09	196	1,77	153	2,5082	1
Navarra	290	0,13	209	1,88	147	2,4098	1
Cantabria	183	0,08	168	1,51	145	2,377	2
Burgos	208	0,09	176	1,59	144	2,3607	1
Lleida	183	0,08	138	1,24	124	2,0328	2
Zaragoza	344	0,16	228	2,05	115	1,8852	1
Granada	289	0,13	211	1,90	115	1,8852	1
Murcia	493	0,22	271	2,44	108	1,7705	1
Palencia	167	0,08	142	1,28	106	1,7377	1
Jaen	126	0,06	113	1,02	99	1,623	2
Sevilla	364	0,17	132	1,19	85	1,3934	1
Valladolid	231	0,11	143	1,29	85	1,3934	1
Huelva	88	0,04	84	0,76	75	1,2295	2
Cordoba	161	0,07	90	0,81	69	1,1311	1
Guipuzcoa	115	0,05	98	0,88	68	1,1148	1
Ourense	75	0,03	74	0,67	67	1,0984	2
Salamanca	111	0,05	86	0,77	59	0,9672	1
Valencia	223	0,10	73	0,66	56	0,918	1
Teruel	77	0,04	71	0,64	56	0,918	1
Avila	76	0,03	73	0,66	56	0,918	1
La Rioja	93	0,04	75	0,68	54	0,8852	1
Huesca	137	0,06	91	0,82	52	0,8525	1
Malaga	101	0,05	61	0,55	49	0,8033	1
Almeria	81	0,04	55	0,50	48	0,7869	2
Madrid	157	0,07	84	0,76	47	0,7705	1
Vizcaya	93	0,04	56	0,50	38	0,623	1
Caceres	62	0,03	54	0,49	38	0,623	1
Soria	45	0,02	41	0,37	36	0,5902	2
Toledo	88	0,04	44	0,40	26	0,4262	1
Alicante	75	0,03	47	0,42	22	0,3607	1
Castellon	48	0,02	26	0,23	22	0,3607	2
Ciudad Real	73	0,03	39	0,35	20	0,3279	1
Pontevedra	26	0,01	26	0,23	20	0,3279	1
Cádiz	36	0,02	28	0,25	18	0,2951	1
Alava	25	0,01	25	0,23	18	0,2951	1
Segovia	29	0,01	25	0,23	15	0,2459	1
Cuenca	25	0,01	18	0,16	11	0,1803	1
Guadalajara	26	0,01	19	0,17	9	0,1475	1
Tarragona	46	0,02	14	0,13	8	0,1311	1
Girona	4	0,00	4	0,04	4	0,0656	2
A Coruña	4	0,00	4	0,04	4	0,0656	2
Albacete	9	0,00	4	0,04	3	0,0492	1
Baleares	3	0,00	3	0,03	0	0	0
Tenerife	0	0,00	0	0,00	0	0	-
Las Palmas	0	0,00	0	0,00	0	0	-
Barcelona	0	0,00	0	0,00	0	0	-

Tabla 2. Número de episodios de inundación registrados en las distintas provincias en tres periodos diferentes, y frecuencia anual para cada uno de los periodos. En la última columna se muestra el factor de aumento del periodo post 1950 con respecto a 1900-2010. Fuente: Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (DGPC, 2011).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Provincias	CUENCAS HIDROGRÁFICAS
Barcelona	Cuencas Internas De Cataluña
Las Palmas	Islas Canarias
Tenerife	Islas Canarias
Baleares	Islas Baleares
Albacete	Segura, Júcar
Coruña	Cantábrico, Miño-Sil
Girona	Ebro
Tarragona	Ebro
Guadalajara	Tajo
Cuenca	Tajo, Guadiana, Júcar
Segovia	Duero
Álava	Ebro, Cantábrico, Cuencas Internas País Vasco
Cádiz	Cuencas Internas De Andalucía, Guadalquivir
Pontevedra	Cantábrico, Miño-Sil
Ciudad Real	Guadiana, Guadalquivir
Castellón	Júcar
Alicante	Segura, Júcar
Toledo	Tajo, Guadiana
Soria	Duero, Ebro
Cáceres	Tajo, Guadiana
Vizcaya	Cantábrico, Cuencas Internas País Vasco
Madrid	Tajo
Almería	Cuencas Internas De Andalucía
Málaga	Cuencas Internas De Andalucía, Guadalquivir
Huesca	Ebro
La Rioja	Ebro
Ávila	Duero, Tajo
Teruel	Júcar, Ebro
Valencia	Júcar
Salamanca	Duero, Tajo
Ourense	Cantábrico, Miño-Sil, Duero, Cuencas Internas País Vasco
Guipúzcoa	Cuencas Internas País Vasco, Cantábrico
Córdoba	Guadiana, Guadalquivir
Huelva	Guadiana, Guadalquivir
Valladolid	Duero
Sevilla	Guadalquivir
Jaén	Guadalquivir
Palencia	Duero
Murcia	Segura
Granada	Guadalquivir, Cuencas Internas De Andalucía
Zaragoza	Ebro
Lleida	Ebro
Burgos	Duero, Ebro
Cantabria	Ebro, Cantábrico, Cuencas Internas País Vasco
Navarra	Ebro, Cantábrico, Cuencas Internas País Vasco
León	Duero, Cantábrico, Miño-Sil
Badajoz	Guadiana
Lugo	Cantábrico, Miño-Sil
Zamora	Duero
Asturias	Cuencas Internas País Vasco, Cantábrico, Miño-Sil

Tabla 3. Cuencas hidrográficas a las cuales pertenecen las provincias españolas. Agrupa los episodios de la Cuenca del Cantábrico, Miño-Sil, Galicia costa y Cuencas Internas del País Vasco como Cuenca del Norte. La Cuenca Interna de Andalucía se recoge como Cuenca del Sur. No están recogidos los datos de las Cuencas Internas de Cataluña. Fuente: Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (DGPC, 2011).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

CUENCA	Víctimas/año/100 000 habitantes			
	A) Periodo 1011-1899	B) Periodo 1900-1949	C) Periodo 1950-2010	Factor de aumento B-C
Duero	0,0325	0,0009	0,2055	230
Ebro	0,0646	0,0359	0,0625	2
Guadalquivir	3,2071	0,0411	0,0422	1
Guadiana	0,0810	0,0020	0,0519	25
Jucar	0,1110	0,0387	0,0744	2
Norte	0,0236	0,0247	0,0546	2
Segura	0,8603	0,0859	0,1097	1
Sur	0,3055	0,0415	0,0131	0
Tajo	0,0010	0,0097	0,0319	3
España	0,4586	0,0247	0,0541	2

Tabla 4. Relación de las víctimas mortales anuales producidas en las cuencas hidrográficas españolas por cada 100 000 habitantes, en los periodos 1011-1899, 1900-1949 y 1950-2010.

Fuente: Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (DGPC, 2011); INE (2013).

CUENCA	Evacuados/año/100 000 habitantes			
	A) Periodo 1011-1899	B) Periodo 1900-1949	C) Periodo 1950-2010	Factor de aumento B-C
Duero	0,0008	0,3626	6,5141	18
Ebro	0,2327	0,0093	2,7897	301
Guadalquivir	0,0084	0,3461	12,9885	38
Guadiana	0,0010	0,0475	6,9429	146
Jucar	0,0050	0,0119	4,3215	363
Norte	0,0020	0,0071	1,3969	196
Segura	0,0000	0,0000	4,2400	-
Sur	0,0002	0,0019	2,8332	1499
Tajo	0,0005	0,0061	0,3998	66
España	0,0411	0,0998	3,8427	39

Tabla 5. Relación de los evacuados anuales en las cuencas hidrográficas por cada 100.000 habitantes, en los periodos 1011-1899, 1900-1949 y 1950-2010. Fuente: Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas (DGPC, 2011); INE (2013).

	Indemnizaciones € /100 000 habitantes periodo 1971 y 2011
Vizcaya	56.870.876
Guipúzcoa	52.408.158
Álava	29.569.279
Navarra	12.631.327
España	11.912.567
Cantabria	9.946.552
Pontevedra	7.677.820
Coruña	7.272.714
Asturias	6.435.412
Orense	3.127.705

Tabla 6. Promedio de las indemnizaciones aprobadas por el Consorcio de Compensación de Seguros entre los años 1971 y 2011 por cada 100 000 habitantes en provincias del norte de España. La media para España está resaltada en gris. Fuente: CCS (2012).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Elementos	Buffer (m)	Elementos	Buffer (m)
Fer_Conv	2	Autov	10
Est_Serv	10	Tuberia	3
Exp_Min_P	10	Enlace	5
Exp_Min_L	10	Carr_Conv	3
Tunel_L	5	Camino	2
Tunel_P	5	Senda	1
Pas_Ele_L	5	Itiner	1
Edi_Rel_Anti	10	Pistas	2

Tabla 7. Elementos lineales pertenecientes a la BCN25 (IGN, 2013) a los que se les ha aplicado un perímetro para poder calcular las áreas. Los resultados se han utilizado para contrastar el área de superficies artificiales determinadas en el proyecto CORINE Land Cover utilizado como referencia de usos del suelo en este trabajo.

USOS DEL SUELO (Ha)		Fotografía aérea				Proyecto CORINE		
		1954	1956	1970	1983	1990	2000	2006
Cuenca del Urumea	Uso artificial	465			914	1.164	1.340	1.480
	Uso agrícola					3.132	2.958	2.851
	Uso forestal					23.068	23.066	23.034
Cuenca del Nora	Uso artificial		444			2.632	3.558	3.710
	Uso agrícola					24.373	23.510	23.404
	Uso forestal					11.164	11.101	11.055

Tabla 8. Usos del suelo para los años 1990, 2000 y 2006. Fuente: Proyecto CORINE Land Cover (IDE de Euskadi, 2013; IGN, 2013).

		Correlación de Pearson (r) para las precipitaciones	Correlación de Pearson (r) para la urbanización
CUENCA DEL URUMEA	FRECUENCIA INUNDACIÓN	0,172	0,411
	CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO	-0,192	-0,421
	INDEMNIZACIONES ECONÓMICAS	0,237*	0,610*
CUENCA DEL NORA	FRECUENCIA INUNDACIÓN	0,090	0,207
	CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO	-0,234	0,115
	INDEMNIZACIONES ECONÓMICAS	0,293*	-0,027*

*correlación poco fiable

Tabla 9. Resultados de las correlaciones realizadas entre los diferentes datos analizados en las cuencas de estudio. Datos analizados a partir de Excel 2010.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Año	CUENCA DEL URUMEA		CUENCA DEL NORA	
	Frecuencia de Inundación (episodios/año)	Intensidad de precipitación máxima diaria (mm)	Frecuencia de Inundación (episodios/año)	Intensidad de precipitación máxima diaria (mm)
1950	0	60,00	0	
1951	0	60,00	0	
1952	0	120,00	0	
1953	0	45,00	0	
1954	0	60,00	0	
1955	0	60,00	0	
1956	0	60,00	0	
1957	0	50,00	0	
1958	0	80,00	0	
1959	0	78,00	0	
1960	0	72,00	0	
1961	0	66,00	0	
1962	0	50,00	0	41,60
1963	0	96,00	0	
1964	0	66,00	0	
1965	0	96,60	0	
1966	0	66,00	0	
1967	0	54,00	0	
1968	0	60,00	0	
1969	0	40,00	0	
1970	0	83,30	0	
1971	0	100,00	0	
1972	0	49,20	2	
1973	0	66,60	0	39,60
1974	0	66,00	0	19,00
1975	0	48,00	2	17,70
1976	0	97,00	0	18,60
1977	0	60,00	1	17,70
1978	0	33,00	0	19,20
1979	1	66,00	0	8,80
1980	1	72,60	0	36,60
1981	2	52,80	0	25,80
1982	0	60,00	0	24,60
1983	1	61,20	2	60,00
1984	0	120,00	0	72,00
1985	0	138,60	0	40,20
1986	0	72,00	0	51,60
1987	0	78,60	0	34,80
1988	0	55,20	0	103,80
1989	0	58,80	2	93,60
1990	0	85,80	1	49,20
1991	0	99,60	0	43,20
1992	0	110,40	2	79,80
1993	1	75,60	2	45,00
1994	0	120,00	0	27,60
1995	1	109,20	0	54,00
1996	0	64,20	0	58,20
1997	0	168,00	1	85,80
1998	0	66,00	2	22,20
1999	0	49,80	0	30,60
2000	0	70,80	1	27,00
2001	0	56,40	0	90,00
2002	1	106,20	0	97,80
2003	1	115,20	0	31,20
2004	1	90,00	0	78,00
2005	0	56,40	0	27,60
2006	1	81,00	0	74,40
2007	2	96,00	0	33,00
2008	0	97,20	0	43,80
2009	2	110,40	0	45,00
2010	0	70,80	1	36,00

Tabla 10. Datos sobre episodios de inundación e intensidad de precipitación. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); AEMET (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

A. Correlaciones

				Uru_frec_inund	Uru_int_precip	
Uru_frec_inund	Correlación de Pearson (r)			1	,172	
	Sig. (bilateral)				,185	
	N			61	61	
	Bootstrap ^a	Sesgo			0	,000
		Típ. Error			0	,000
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		1	,172
			Superior		1	,172
Uru_int_precip	Correlación de Pearson (r)			,172	1	
	Sig. (bilateral)			,185		
	N			61	61	
	Bootstrap ^a	Sesgo			,000	0
		Típ. Error			,000	0
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		,172	1
			Superior		,172	1

B. Correlaciones

				Nora_frec_inund	Nora_int_precip	
Nora_frec_inund	Correlación de Pearson (r)			1	,090	
	Sig. (bilateral)				,585	
	N			39	39	
	Bootstrap ^a	Sesgo			0	,000
		Típ. Error			0	,000
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		1	,090
			Superior		1	,090
Nora_int_precip	Correlación de Pearson (r)			,090	1	
	Sig. (bilateral)			,585		
	N			39	39	
	Bootstrap ^a	Sesgo			,000	0
		Típ. Error			,000	0
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		,090	1
			Superior		,090	1

Tabla 10 (bis). Correlación entre frecuencia de inundación e intensidad de precipitación para la Cuenca del Urumea (A) y la Cuenca del Nora (B). Datos analizados a partir del software IBM SPSS Statistics.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Año	CUENCA DEL URUMEA		CUENCA DEL NORA	
	Caudal máximo instantáneo Qci(m3/s)	Int. de precipitación máxima diaria (mm)	Caudal máximo instantáneo Qci(m3/s)	Int. de precipitación máxima diaria (mm)
1950		60,00		
1951		60,00		
1952		120,00		
1953		45,00		
1954		60,00		
1955		60,00		
1956		60,00		
1957		50,00		
1958		80,00		
1959		78,00		
1960		72,00		
1961		66,00		
1962		50,00		41,60
1963		96,00		
1964		66,00		
1965		96,60		
1966		66,00		
1967		54,00		
1968		60,00		
1969		40,00		
1970	297,10	83,30		
1971	186,70	100,00		
1972	337,60	49,20		
1973	193,00	66,60		39,60
1974	443,33	66,00		19,00
1975	630,00	48,00		17,70
1976	298,70	97,00		18,60
1977	410,00	60,00		17,70
1978	201,77	33,00		19,20
1979	229,00	66,00		8,80
1980	370,00	72,60		36,60
1981	194,00	52,80		25,80
1982	552,00	60,00		24,60
1983	161,90	61,20	216,00	60,00
1984	167,34	120,00		72,00
1985	87,95	138,60	85,00	40,20
1986	122,76	72,00		51,60
1987	106,37	78,60	100,38	34,80
1988		55,20	92,00	103,80
1989	181,24	58,80	68,00	93,60
1990	156,50	85,80	155,00	49,20
1991	119,66	99,60	263,00	43,20
1992	249,67	110,40	414,00	79,80
1993	322,97	75,60	551,00	45,00
1994	262,24	120,00	290,25	27,60
1995	244,50	109,20	236,50	54,00
1996	144,82	64,20	550,90	58,20
1997	186,00	168,00	155,48	85,80
1998	140,49	66,00	115,26	22,20
1999	87,26	49,80		30,60
2000	147,02	70,80	116,84	27,00
2001	83,16	56,40	52,92	90,00
2002	257,62	106,20	116,04	97,80
2003	339,55	115,20	426,14	31,20
2004	250,00	90,00	122,49	78,00
2005	169,21	56,40	209,05	27,60
2006	174,79	81,00	183,62	74,40
2007	121,55	96,00	104,72	33,00
2008	258,12	97,20	237,29	43,80
2009	147,15	110,40	461,22	45,00
2010		70,80		36,00

Tabla 11. Datos sobre caudal máximo instantáneo e intensidad de precipitación. Fuente: CEDEX (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

A. Correlaciones

				Uru_Qci_Inund	Uru_int_precip	
Uru_Qci_Inund	Correlación de Pearson (r)			1	-,192	
	Sig. (bilateral)				,240	
	N			39	39	
	Bootstrap ^a	Sesgo			0	,000
		Típ. Error			0	,000
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		1	-,192
			Superior		1	-,192
Uru_int_precip	Correlación de Pearson (r)			-,192	1	
	Sig. (bilateral)			,240		
	N			39	39	
	Bootstrap ^a	Sesgo			,000	0
		Típ. Error			,000	0
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		-,192	1
			Superior		-,192	1

B. Correlaciones

				Nora_Qci_Inund	Nora_int_precip	
Nora_Qci_Inund	Correlación de Pearson (r)			1	-,234	
	Sig. (bilateral)				,270	
	N			24	24	
	Bootstrap ^a	Sesgo			0	,000
		Típ. Error			0	,000
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		1	-,234
			Superior		1	-,234
Nora_int_precip	Correlación de Pearson (r)			-,234	1	
	Sig. (bilateral)			,270		
	N			24	24	
	Bootstrap ^a	Sesgo			,000	0
		Típ. Error			,000	0
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		-,234	1
			Superior		-,234	1

Tabla 11 (bis). Correlación entre caudal máximo instantáneo e intensidad de precipitación para la Cuenca del Urumea (A) y la Cuenca del Nora (B). Datos analizados a partir del software IBM SPSS Statistics.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Año	CUENCA DEL URUMEA		CUENCA DEL NORA	
	Frecuencia de Inundación (episodios/año)	Superficie artificial (Ha)	Frecuencia de Inundación (episodios/año)	Superficie artificial (Ha)
1950	0	424	0	324
1951	0	434	0	342
1952	0	444	0	360
1953	0	454	0	379
1954	0	465	0	400
1955	0	476	0	421
1956	0	487	0	444
1957	0	499	0	468
1958	0	510	0	493
1959	0	522	0	519
1960	0	535	0	547
1961	0	547	0	577
1962	0	560	0	608
1963	0	574	0	640
1964	0	587	0	675
1965	0	601	0	711
1966	0	615	0	749
1967	0	630	0	790
1968	0	644	0	832
1969	0	660	0	877
1970	0	675	0	924
1971	0	691	0	974
1972	0	707	2	1026
1973	0	724	0	1081
1974	0	741	0	1139
1975	0	759	2	1200
1976	0	776	0	1265
1977	0	795	1	1333
1978	0	813	0	1404
1979	1	833	0	1480
1980	1	852	0	1559
1981	2	872	0	1643
1982	0	893	0	1732
1983	1	914	2	1825
1984	0	946	0	1923
1985	0	979	0	2026
1986	0	1014	0	2135
1987	0	1049	0	2250
1988	0	1086	0	2370
1989	0	1124	2	2498
1990	0	1164	1	2632
1991	0	1181	0	2713
1992	0	1197	2	2796
1993	1	1214	2	2881
1994	0	1231	0	2969
1995	1	1249	0	3060
1996	0	1267	0	3154
1997	0	1285	1	3250
1998	0	1303	2	3350
1999	0	1321	0	3452
2000	0	1340	1	3558
2001	0	1362	0	3583
2002	1	1385	0	3608
2003	1	1408	0	3633
2004	1	1432	0	3659
2005	0	1456	0	3684
2006	1	1480	0	3710
2007	2	1505	0	3736
2008	0	1530	0	3762
2009	2	1555	0	3788
2010	0	1581	1	3815

Tabla 12. Datos sobre frecuencia de inundaciones y superficie artificial. En rojo se representan los valores interpolados. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); Proyecto CORINE Land Cover (IGN, 2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

A. Correlaciones

				Uru_frec_inund	Uru_sup_artif	
Uru_frec_inund	Correlación de Pearson (r)			1	,411**	
	Sig. (bilateral)				,001	
	N			61	61	
	Bootstrap ^a	Sesgo			0	,000
		Típ. Error			0	,000
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		1	,411
			Superior		1	,411
Uru_sup_artif	Correlación de Pearson (r)			,411**	1	
	Sig. (bilateral)			,001		
	N			61	61	
	Bootstrap ^a	Sesgo			,000	0
		Típ. Error			,000	0
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		,411	1
			Superior		,411	1

**La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)..*

B. Correlaciones

				Nora_frec_inund	Nora_sup_artif	
Nora_frec_inund	Correlación de Pearson (r)			1	,207	
	Sig. (bilateral)				,109	
	N			61	61	
	Bootstrap ^a	Sesgo			0	,000
		Típ. Error			0	,000
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		1	,207
			Superior		1	,207
Nora_sup_artif	Correlación de Pearson (r)			,207	1	
	Sig. (bilateral)			,109		
	N			61	61	
	Bootstrap ^a	Sesgo			,000	0
		Típ. Error			,000	0
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		,207	1
			Superior		,207	1

Tabla 12 (bis). Correlación entre frecuencia de inundación y superficie artificial para la Cuenca del Urumea (A) y la Cuenca del Nora (B). Datos analizados a partir del software IBM SPSS Statistics.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

Año	CUENCA DEL URUMEA		CUENCA DEL NORA	
	Caudal máximo instantáneo Qci(m3/s)	Superficie artificial (Ha)	Caudal máximo instantáneo Qci(m3/s)	Superficie artificial (Ha)
1950		424		324
1951		434		342
1952		444		360
1953		454		379
1954		465		400
1955		476		421
1956		487		444
1957		499		468
1958		510		493
1959		522		519
1960		535		547
1961		547		577
1962		560		608
1963		574		640
1964		587		675
1965		601		711
1966		615		749
1967		630		790
1968		644		832
1969		660		877
1970	297,10	675		924
1971	186,70	691		974
1972	337,60	707		1026
1973	193,00	724		1081
1974	443,33	741		1139
1975	630,00	759		1200
1976	298,70	776		1265
1977	410,00	795		1333
1978	201,77	813		1404
1979	229,00	833		1480
1980	370,00	852		1559
1981	194,00	872		1643
1982	552,00	893		1732
1983	161,90	914	216,00	1825
1984	167,34	946		1923
1985	87,95	979	85,00	2026
1986	122,76	1014		2135
1987	106,37	1049	100,38	2250
1988		1086	92,00	2370
1989	181,24	1124	68,00	2498
1990	156,50	1164	155,00	2632
1991	119,66	1181	263,00	2713
1992	249,67	1197	414,00	2796
1993	322,97	1214	551,00	2881
1994	262,24	1231	290,25	2969
1995	244,50	1249	236,50	3060
1996	144,82	1267	550,90	3154
1997	186,00	1285	155,48	3250
1998	140,49	1303	115,26	3350
1999	87,26	1321		3452
2000	147,02	1340	116,84	3558
2001	83,16	1362	52,92	3583
2002	257,62	1385	116,04	3608
2003	339,55	1408	426,14	3633
2004	250,00	1432	122,49	3659
2005	169,21	1456	209,05	3684
2006	174,79	1480	183,62	3710
2007	121,55	1505	104,72	3736
2008	258,12	1530	237,29	3762
2009	147,15	1555	461,22	3788
2010		1581		3815

Tabla 13. Datos sobre caudal máximo instantáneo y ocupación de la superficie artificial. En rojo se representan los valores interpolados. Fuente: CEDEX (MAGRAMA, 2013); IGN (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

A. Correlaciones

				Uru_Qci_Inund	Uru_sup_artif	
Uru_Qci_Inund	Correlación de Pearson (r)			1	-,421**	
	Sig. (bilateral)				,008	
	N			39	39	
	Bootstrap ^a	Sesgo			0	,000
		Típ. Error			0	,000
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		1	-,421
			Superior		1	-,421
Uru_sup_artif	Correlación de Pearson (r)			-,421**	1	
	Sig. (bilateral)			,008		
	N			39	39	
	Bootstrap ^a	Sesgo			,000	0
		Típ. Error			,000	0
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		-,421	1
			Superior		-,421	1

La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)..

B. Correlaciones

				Nora_Qci_Inund	Nora_sup_artif	
Nora_Qci_Inund	Correlación de Pearson (r)			1	,115	
	Sig. (bilateral)				,593	
	N			24	24	
	Bootstrap ^a	Sesgo			0	,000
		Típ. Error			0	,000
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		1	,115
			Superior		1	,115
Nora_sup_artif	Correlación de Pearson (r)			,115	1	
	Sig. (bilateral)			,593		
	N			24	24	
	Bootstrap ^a	Sesgo			,000	0
		Típ. Error			,000	0
		Intervalo de confianza al 95%	Inferior		,115	1
			Superior		,115	1

Tabla 13 (bis). Correlación entre caudal máximo instantáneo y superficie artificial para la Cuenca del Urumea (A) y la Cuenca del Nora (B). Datos analizados a partir del software IBM SPSS Statistics.

2. FIGURAS

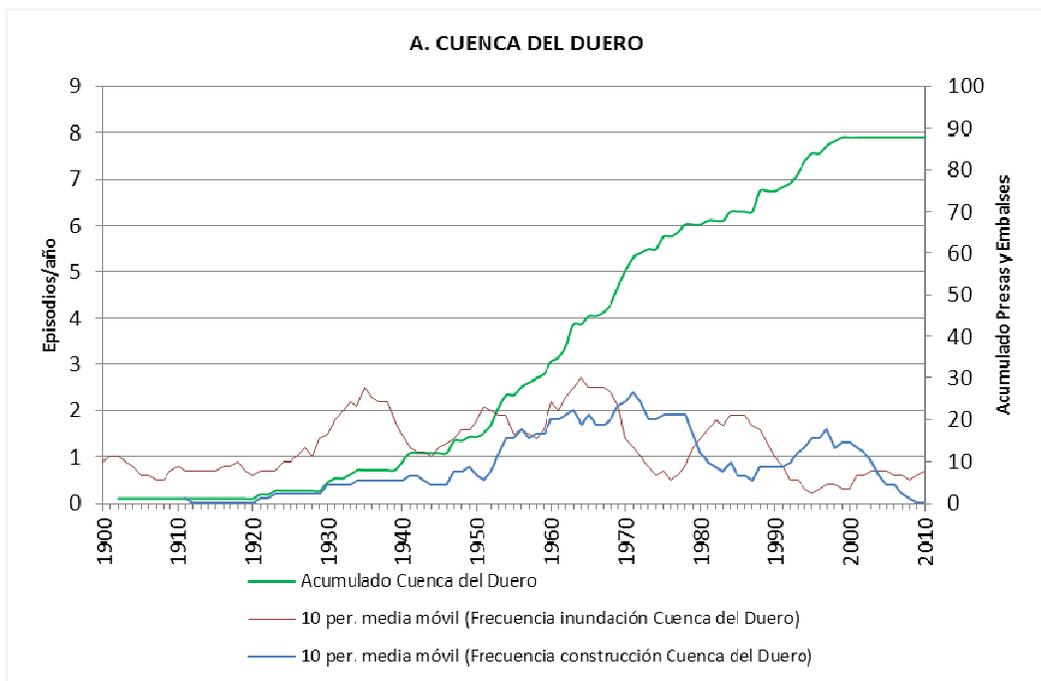


Figura 1.A. Relación entre frecuencia de inundaciones y construcción de embalses en la cuenca del Duero. Eje izquierdo: número de inundaciones/año (media móvil, 10 años). Eje derecho: total acumulado de presas y embalses. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); SEPREM (2013).

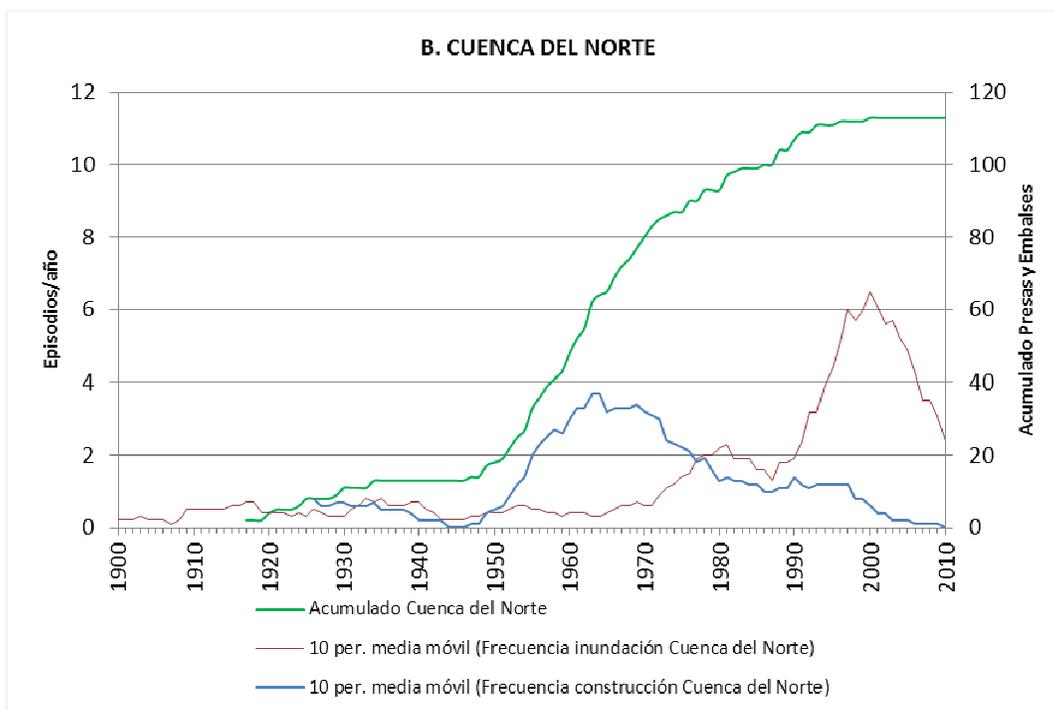


Figura 1.B. Relación entre frecuencia de inundaciones y construcción de embalses en la cuenca del Norte. Eje izquierdo: número de inundaciones/año (media móvil, 10 años). Eje derecho: total acumulado de presas y embalses. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); SEPREM (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

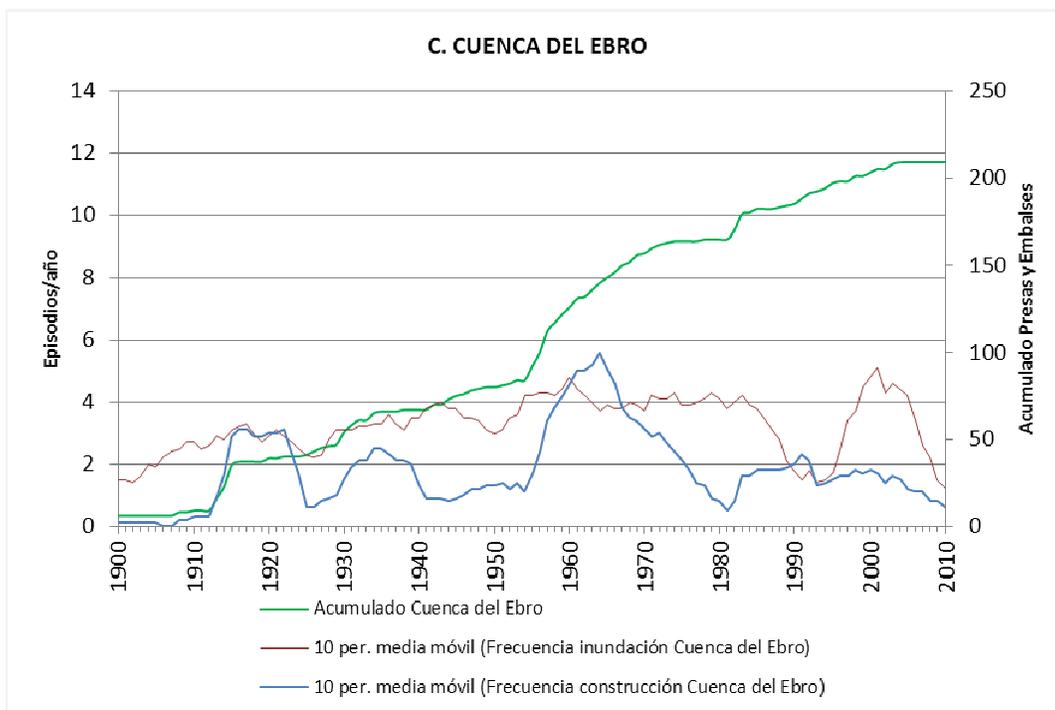


Figura 1.C. Relación entre frecuencia de inundaciones y construcción de embalses en la cuenca del Ebro. Eje izquierdo: número de inundaciones/año (media móvil, 10 años). Eje derecho: total acumulado de presas y embalses. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); SEPREM (2013).

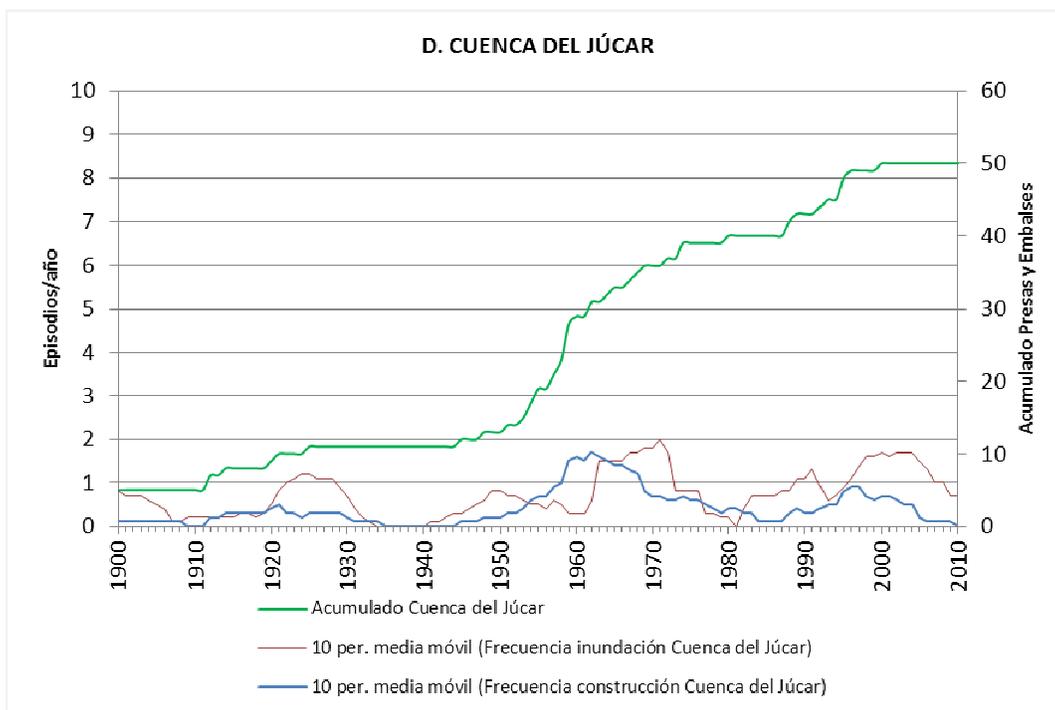


Figura 1.D. Relación entre frecuencia de inundaciones y construcción de embalses en la cuenca del Júcar. Eje izquierdo: número de inundaciones/año (media móvil, 10 años). Eje derecho: total acumulado de presas y embalses. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); SEPREM (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

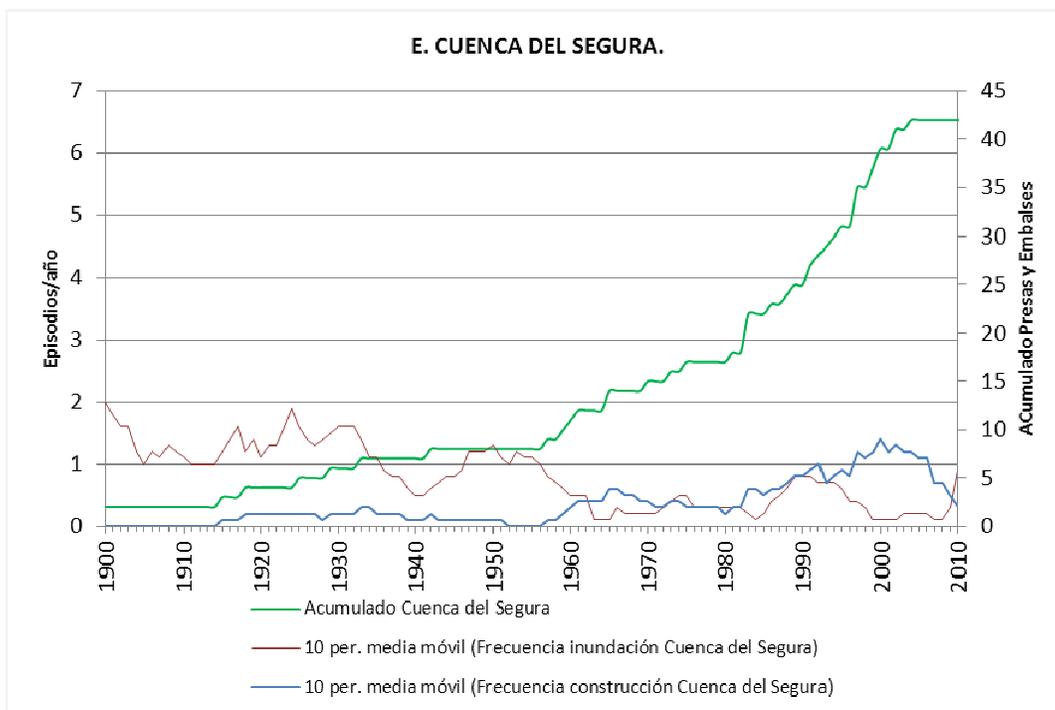


Figura 1.E. Relación entre frecuencia de inundaciones y construcción de embalses en la cuenca del Segura. Eje izquierdo: número de inundaciones/año (media móvil, 10 años). Eje derecho: total acumulado de presas y embalses. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); SEPREM (2013).

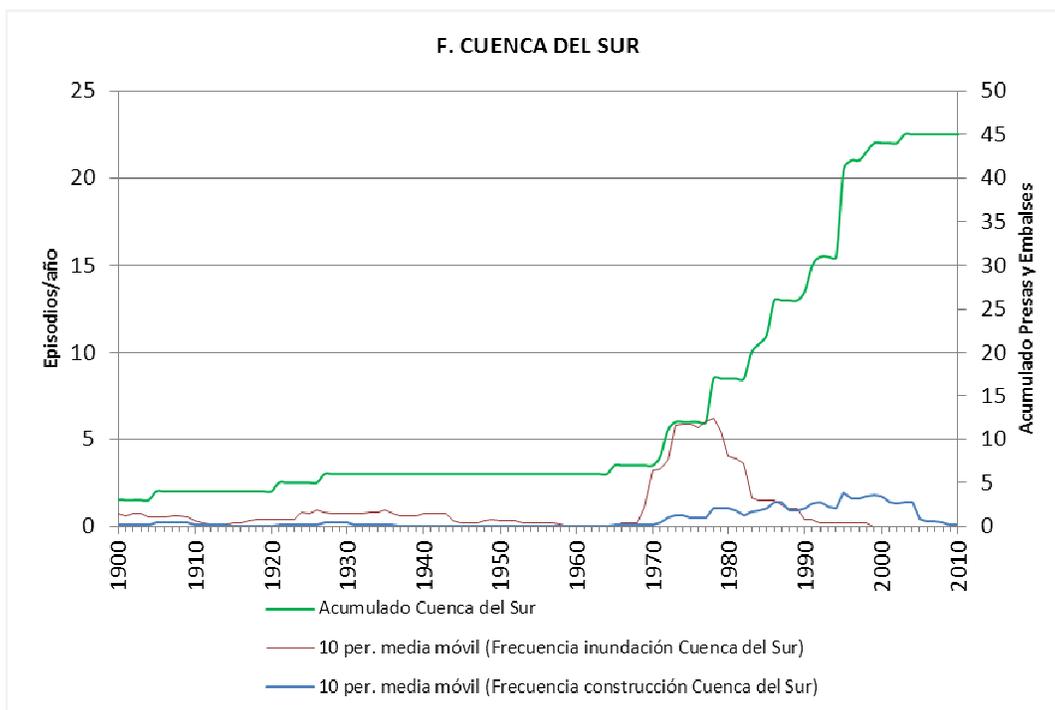


Figura 1.F. Relación entre frecuencia de inundaciones y construcción de embalses en la cuenca del Sur. Eje izquierdo: número de inundaciones/año (media móvil, 10 años). Eje derecho: total acumulado de presas y embalses. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); SEPREM (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

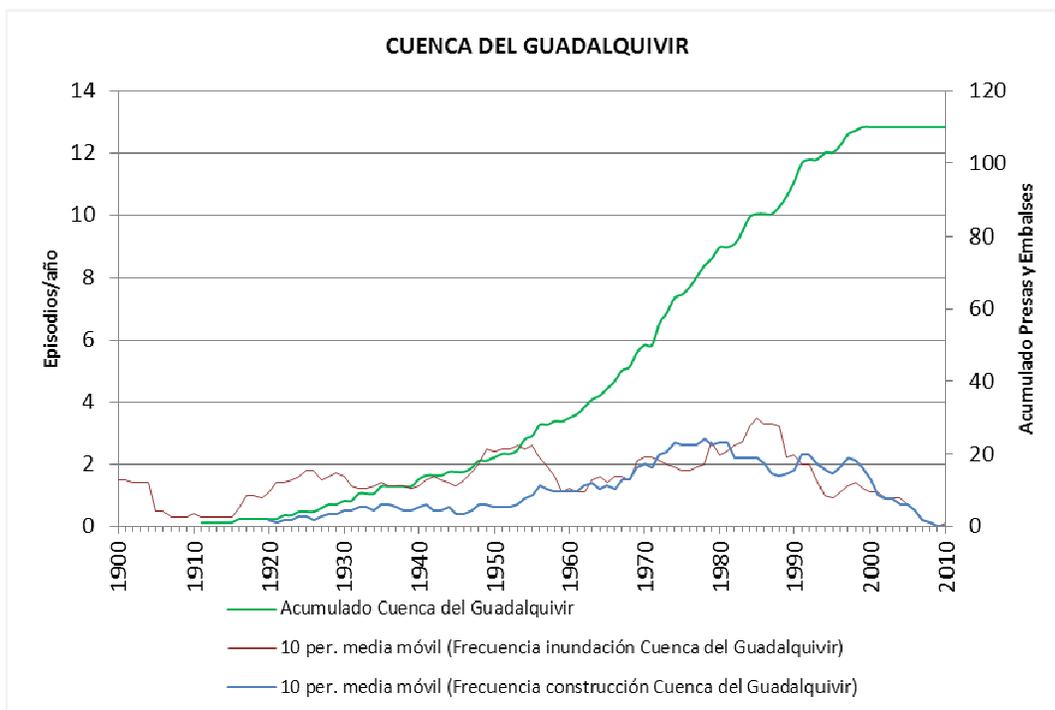


Figura 1.G. Relación entre frecuencia de inundaciones y construcción de embalses en la cuenca del Guadalquivir. Eje izquierdo: número de inundaciones/año (media móvil, 10 años). Eje derecho: total acumulado de presas y embalses. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); SEPTEM (2013).

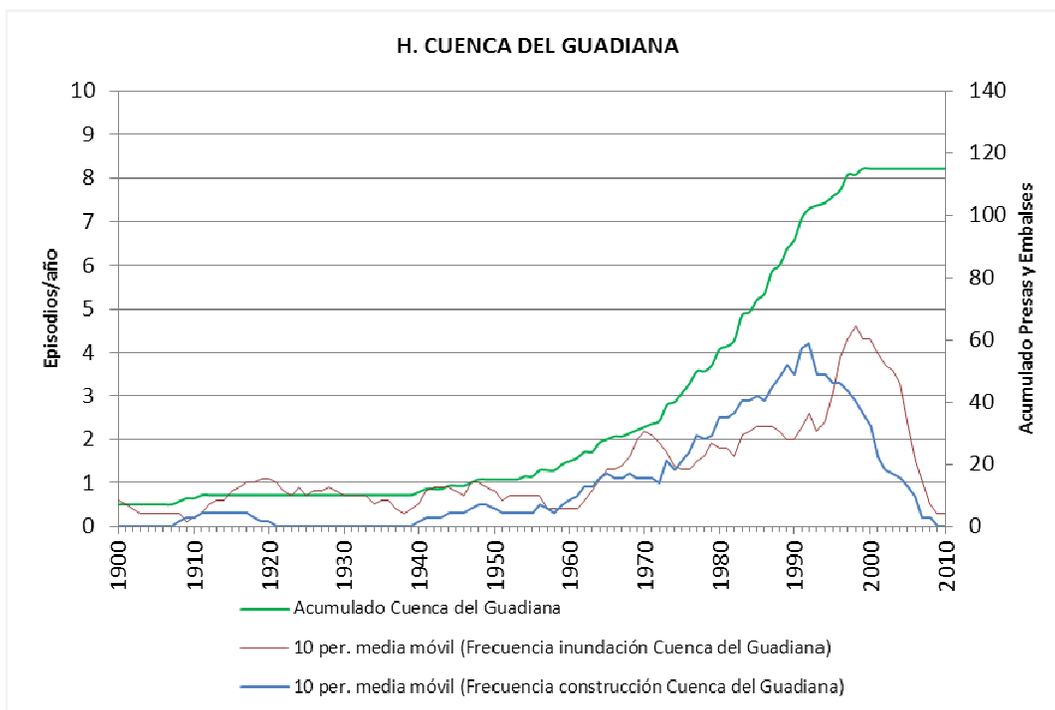


Figura 1.H. Relación entre frecuencia de inundaciones y construcción de embalses en la cuenca del Guadiana. Eje izquierdo: número de inundaciones/año (media móvil, 10 años). Eje derecho: total acumulado de presas y embalses. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); SEPTEM (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

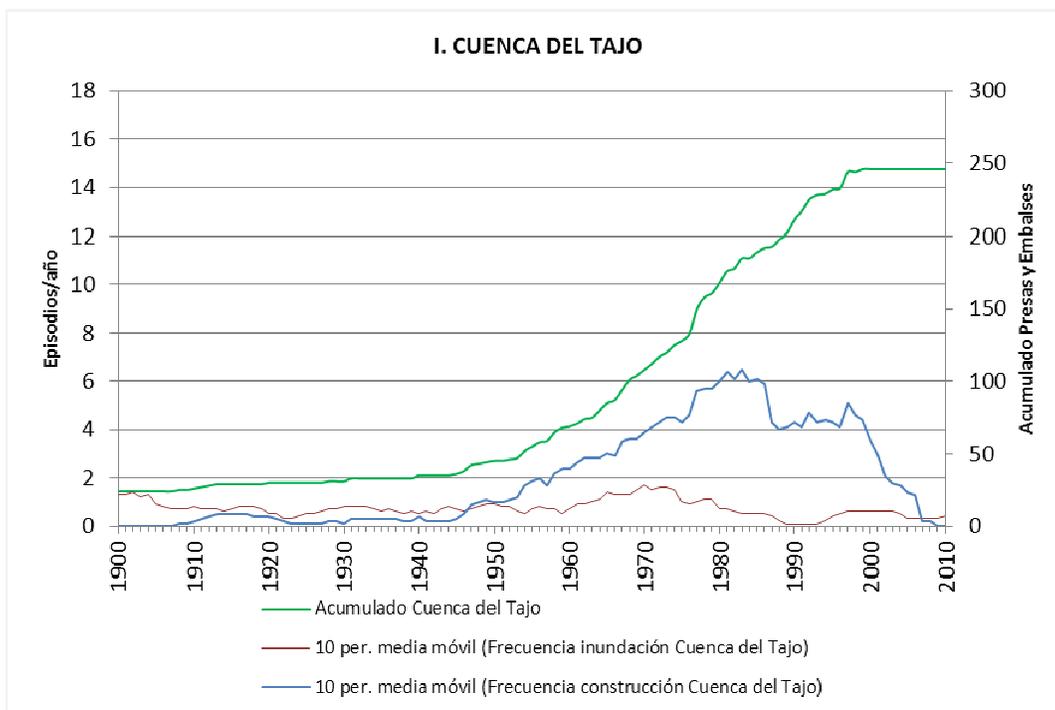


Figura 1.I. Relación entre frecuencia de inundaciones y construcción de embalses en la cuenca del Tajo. Eje izquierdo: número de inundaciones/año (media móvil, 10 años). Eje derecho: total acumulado de presas y embalses. Fuentes: CNIH (DGPC, 2011); SEPREM (2013).

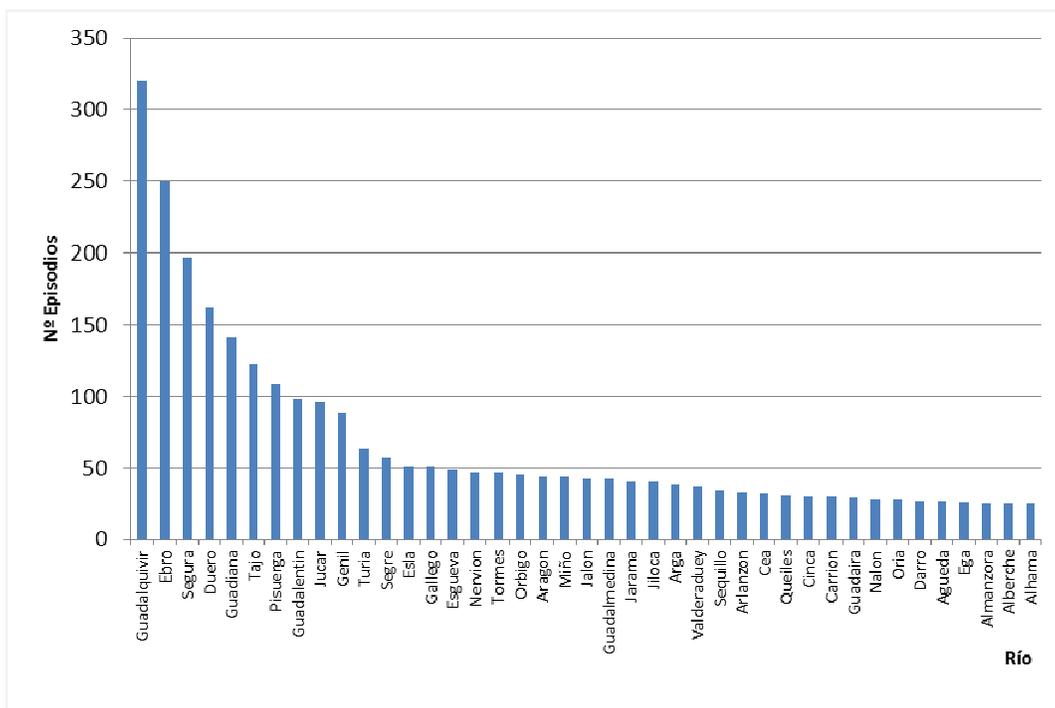


Figura 2. Ríos con más de 25 episodios de inundación registrados entre el año 181 A.C. y el año 2010. El número de episodios contabilizados en esta serie representa el 40,5% del total de 1632 episodios registrados. Fuente. CNIH (DGPC, 2011).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

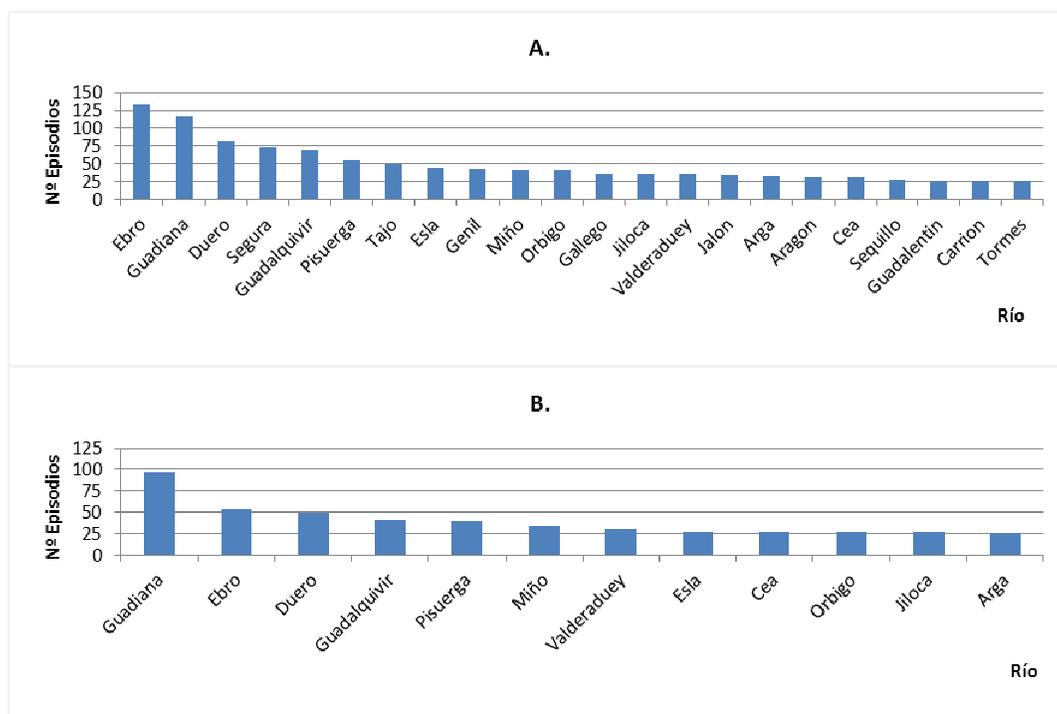


Figura 3. Ríos con más de 25 episodios registrados entre los años 1900 y 2010 (A). El número de episodios contabilizados en esta serie representa el 22% del total de episodios registrados y pertenecen a 22 ríos de un total de 1583 en los que ha habido 1 o más episodios. En la figura B se detallan los ríos con más de 25 episodios registrados entre los años 1950 y 2010. El número de episodios contabilizados en esta serie representa el 22% del total de episodios registrados y pertenecen a 12 ríos de un total de 1433 en los que ha habido 1 o más episodios. Fuente. CNIH (DGPC, 2011).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

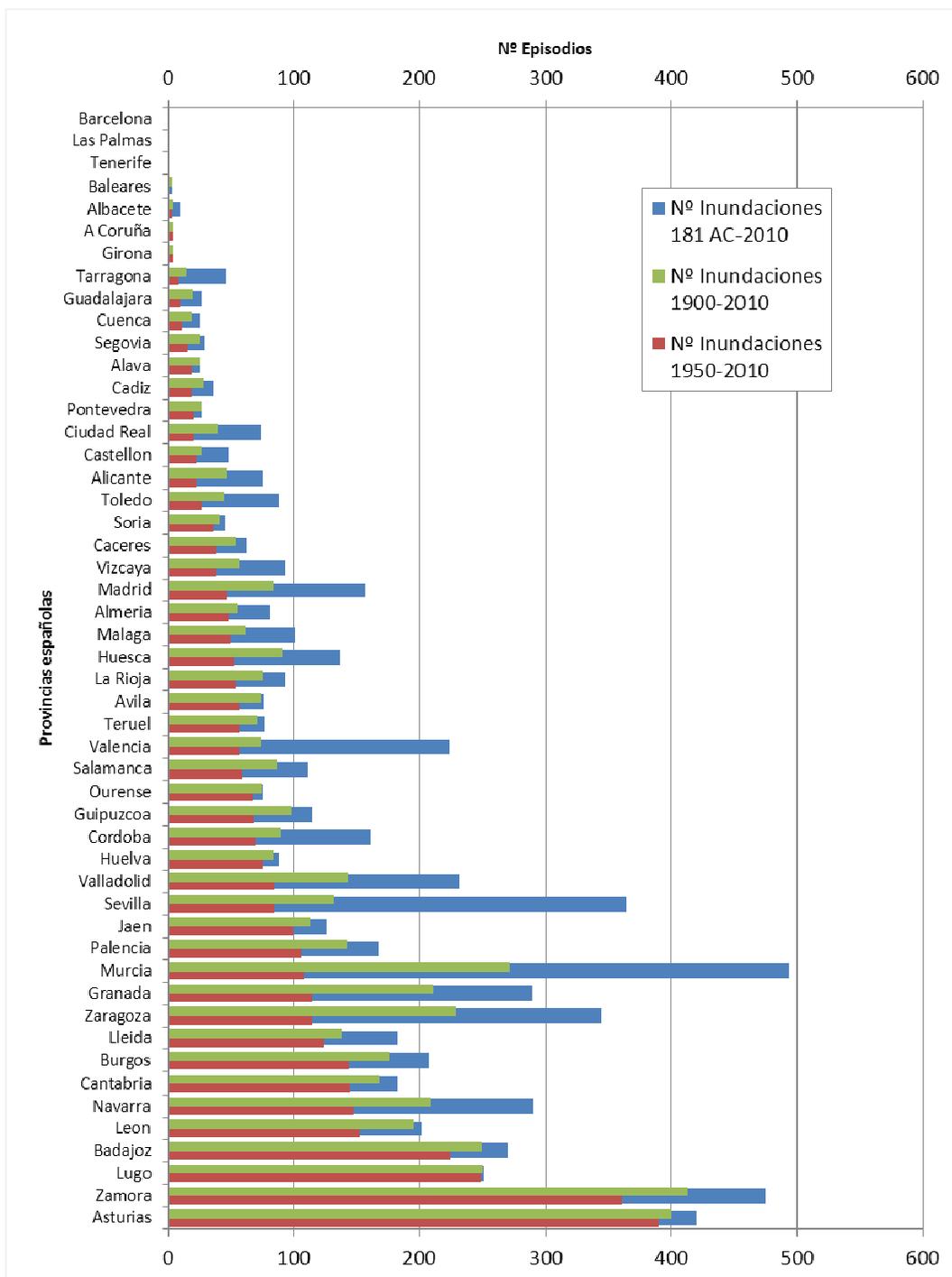


Figura 4. Relación de las inundaciones registradas en las provincias españolas en 181 AC-1899, 1900-2010 y 1950-2010, ordenadas de menor a mayor número de episodios en el periodo 1950-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

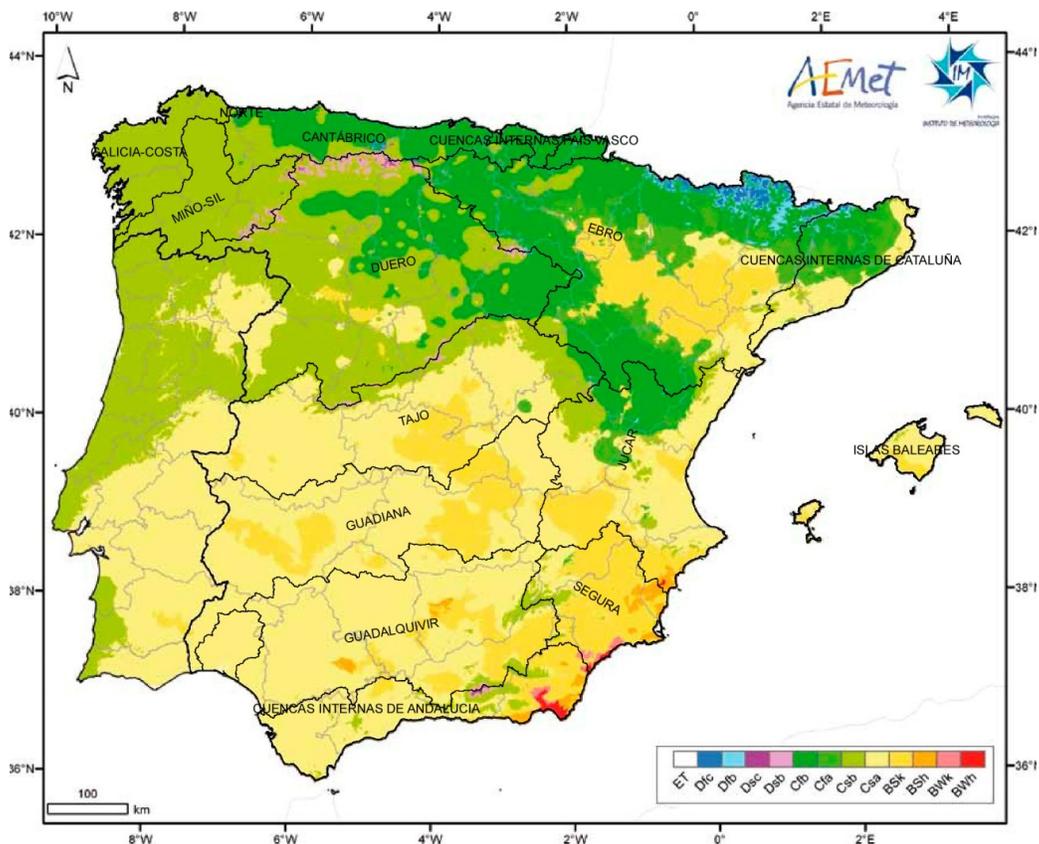


Figura 5. Grandes cuencas hidrográficas y clasificación climática de Köppen-Geiger en la Península Ibérica e Islas Baleares. Fuente: AEMET (2013).

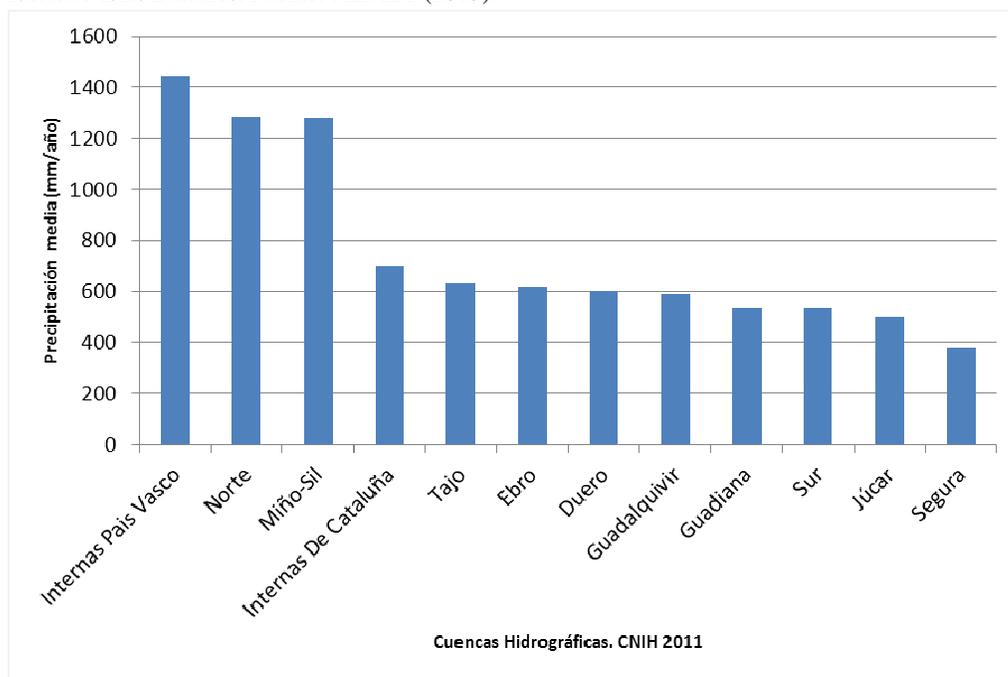


Figura 6. Precipitaciones medias en mm/año recogidas en las cuencas españolas entre 1940 y 2010. Las precipitaciones de las cuencas del sur y del norte representan la media entre los años 1961 y 2010. Fuentes: AEMET (2005); MAGRAMA (2011).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

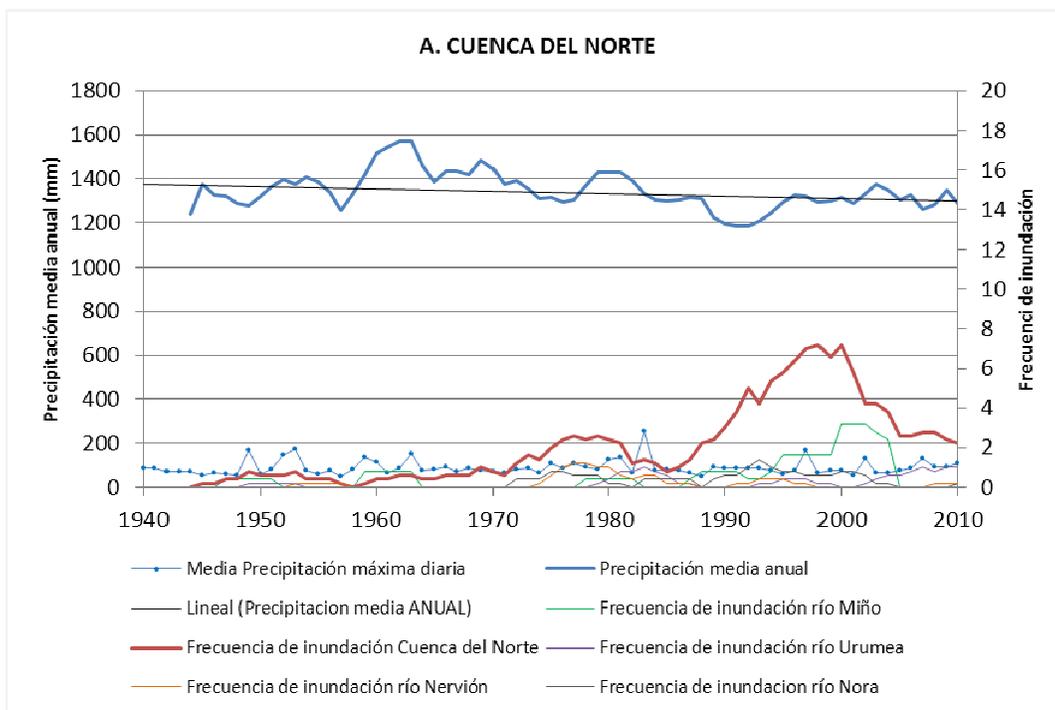


Figura 7.A. Frecuencia de las inundaciones (media móvil 5 años), precipitación anual media (Miño-Sil, Galicia-Costa, Cantábrico Oriental y Cantábrico Occidental) (mm; media móvil 5 años) y media de las precipitaciones máximas diarias (Bilbao, Oviedo, Orense, San Sebastián, Santander) de la cuenca Norte, para el periodo 1940-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); SIA (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

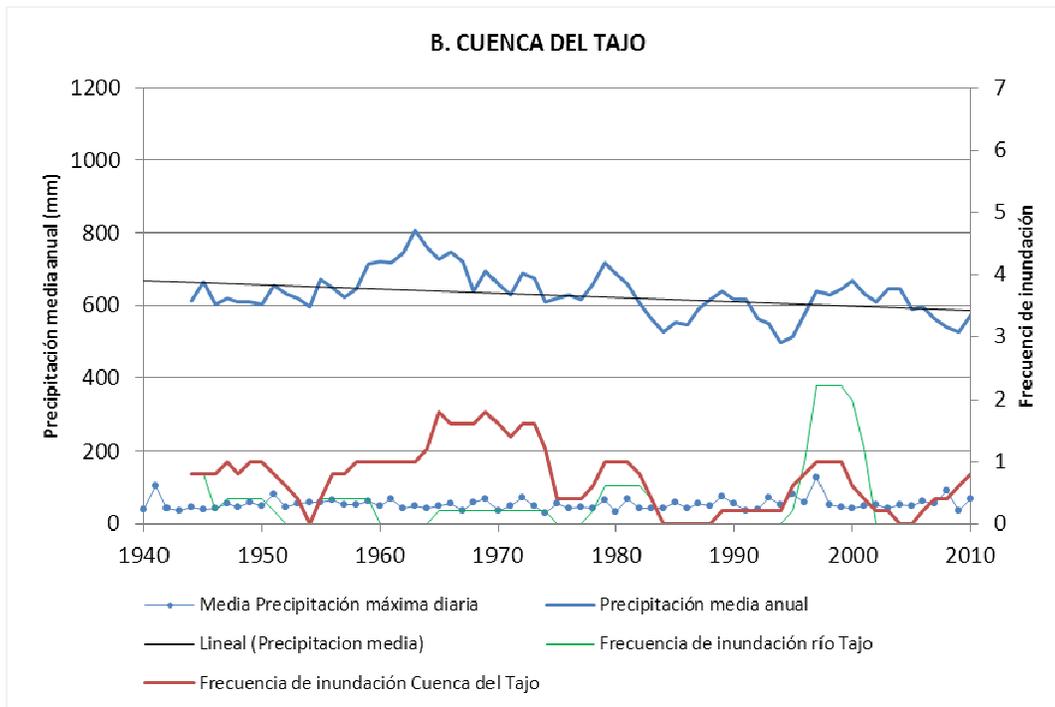


Figura 7.B. Frecuencia de las inundaciones (media móvil 5 años), precipitación anual (mm; media móvil 5 años) y media de las precipitaciones máximas diarias (Ávila, Cáceres, Cuenca, Guadalajara, Madrid, Toledo, Salamanca) de la cuenca del Tajo, para el periodo 1940-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); SIA (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

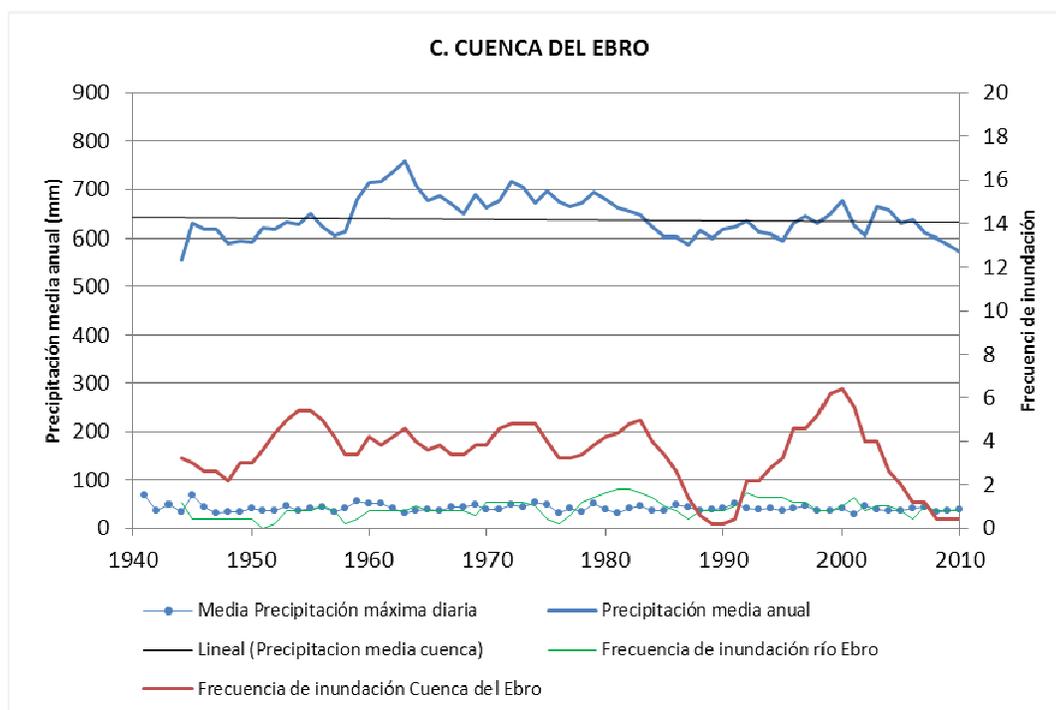


Figura 7.C. Frecuencia de las inundaciones (media móvil 5 años), precipitación anual (mm; media móvil 5 años) y media de las precipitaciones máximas diarias (Burgos, Huesca, Lérida, Logroño, Pamplona, Teruel, Zaragoza) de la cuenca del Ebro, para el periodo 1940-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); SIA (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

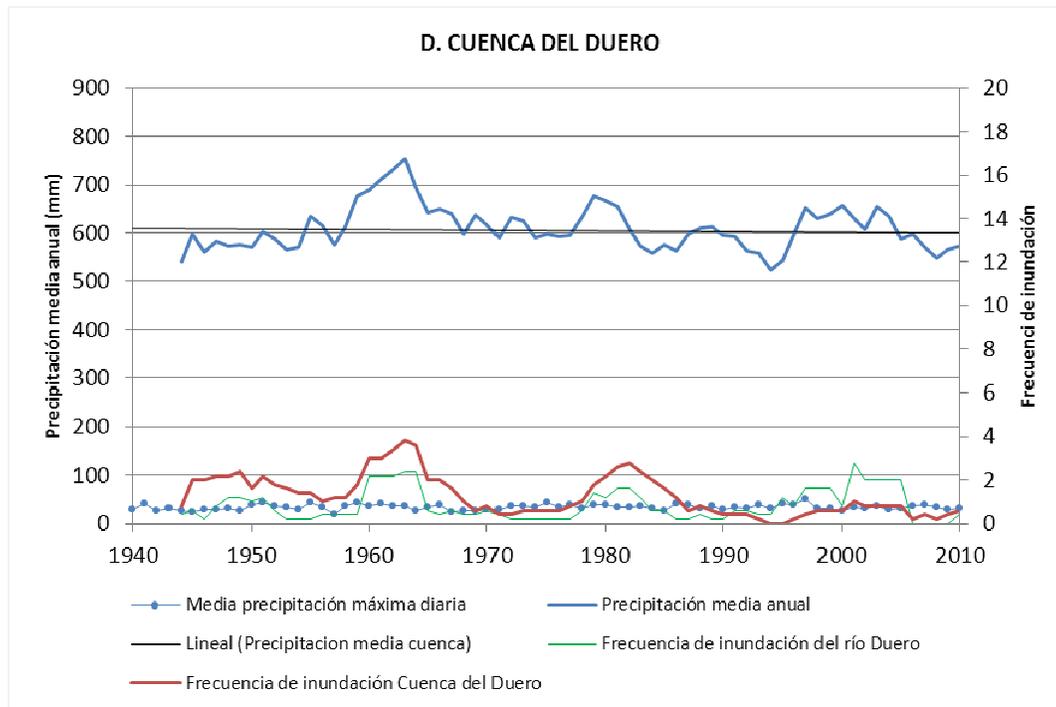


Figura 7.D. Frecuencia de las inundaciones (media móvil 5 años), precipitación anual (mm; media móvil 5 años) y media de las precipitaciones máximas diarias (Ávila, Burgos, León, Oviedo, Palencia, Salamanca, Segovia, Soria, Valladolid, Zamora) de la cuenca del Duero, para el periodo 1940-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); SIA (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

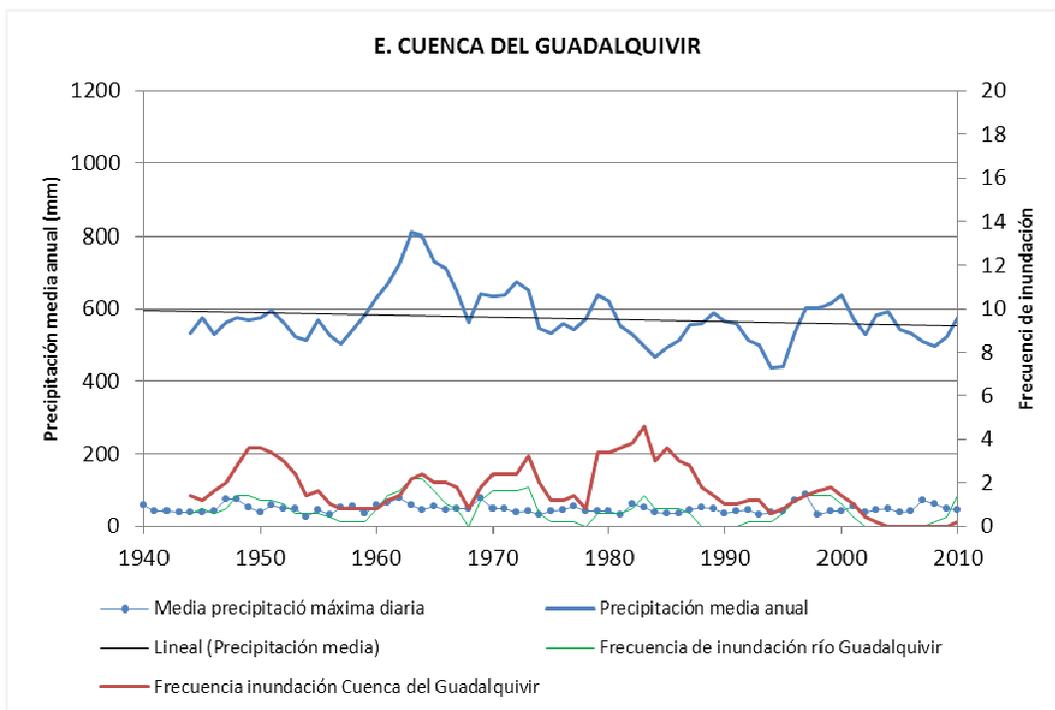


Figura 7.E. Frecuencia de las inundaciones (media móvil 5 años), precipitación anual (mm; media móvil 5 años) y media de las precipitaciones máximas diarias (Cádiz, Ciudad Real, Córdoba, Huelva, Jaén; Granada, Sevilla) de la cuenca del Guadalquivir, para el periodo 1940-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); SIA (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

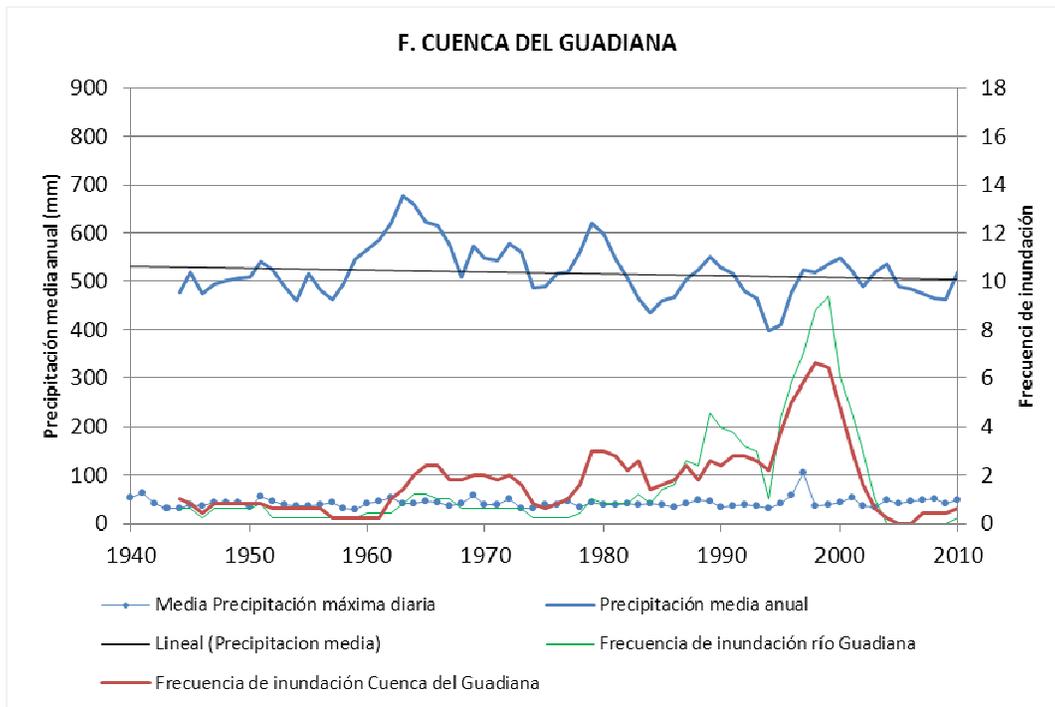


Figura 7.F. Frecuencia de las inundaciones (media móvil 5 años), precipitación anual (mm; media móvil 5 años) y media de las precipitaciones máximas diarias (Badajo, Cáceres, Córdoba, Cuenca, Huelva, Toledo) de la cuenca del Guadiana, para el periodo 1940-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); SIA (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

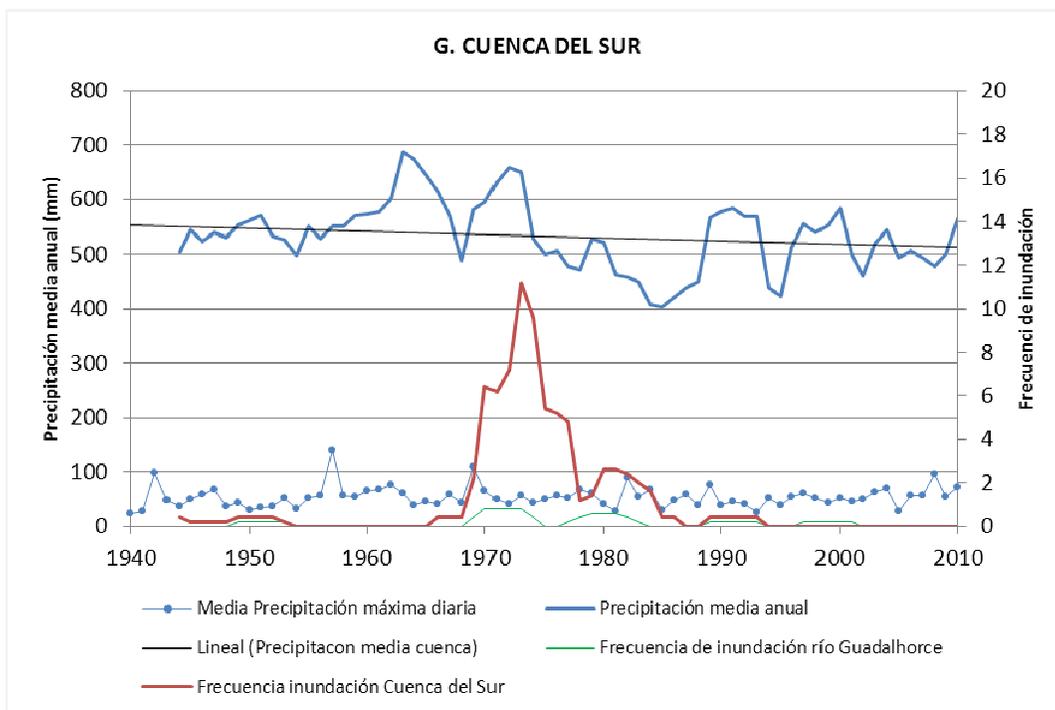


Figura 7.G. Frecuencia de las inundaciones (media móvil 5 años), precipitación anual (mm; media móvil 5 años) y media de las precipitaciones máximas diarias (Cádiz, Granada, Málaga) de la cuenca del Sur, para el periodo 1940-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); SIA (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

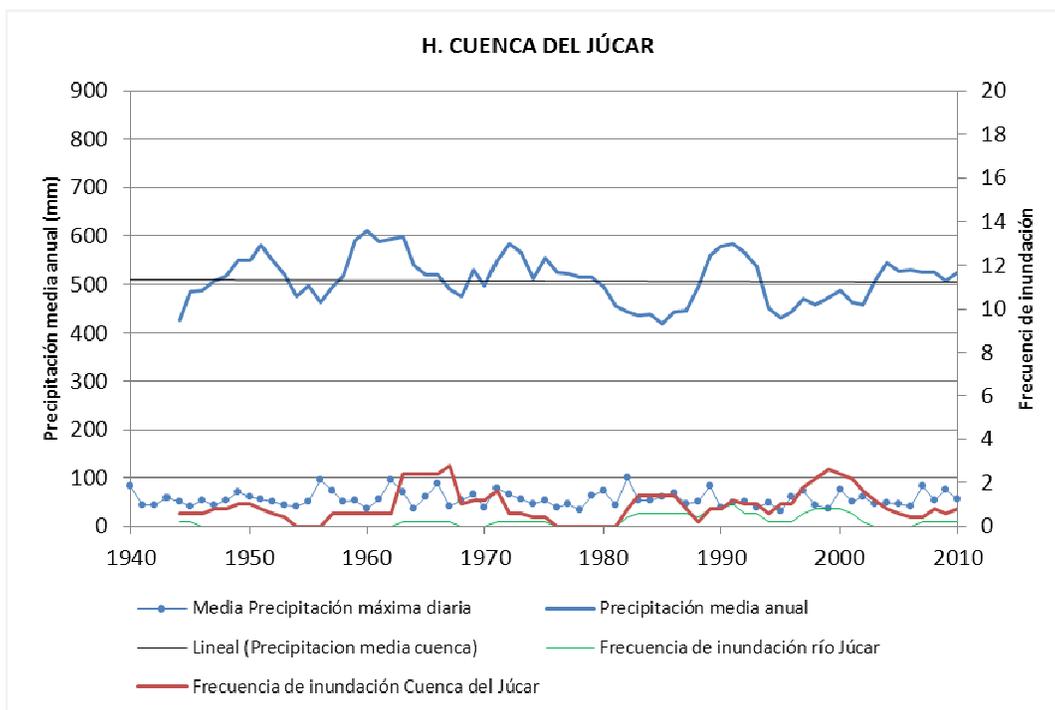


Figura 7.H. Frecuencia de las inundaciones (media móvil 5 años), precipitación anual (mm; media móvil 5 años) y media de las precipitaciones máximas diarias (Albacete, Alicante, Castellón, Cuenca, Teruel, Valencia) de la cuenca del Júcar, para el periodo 1940-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); SIA (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

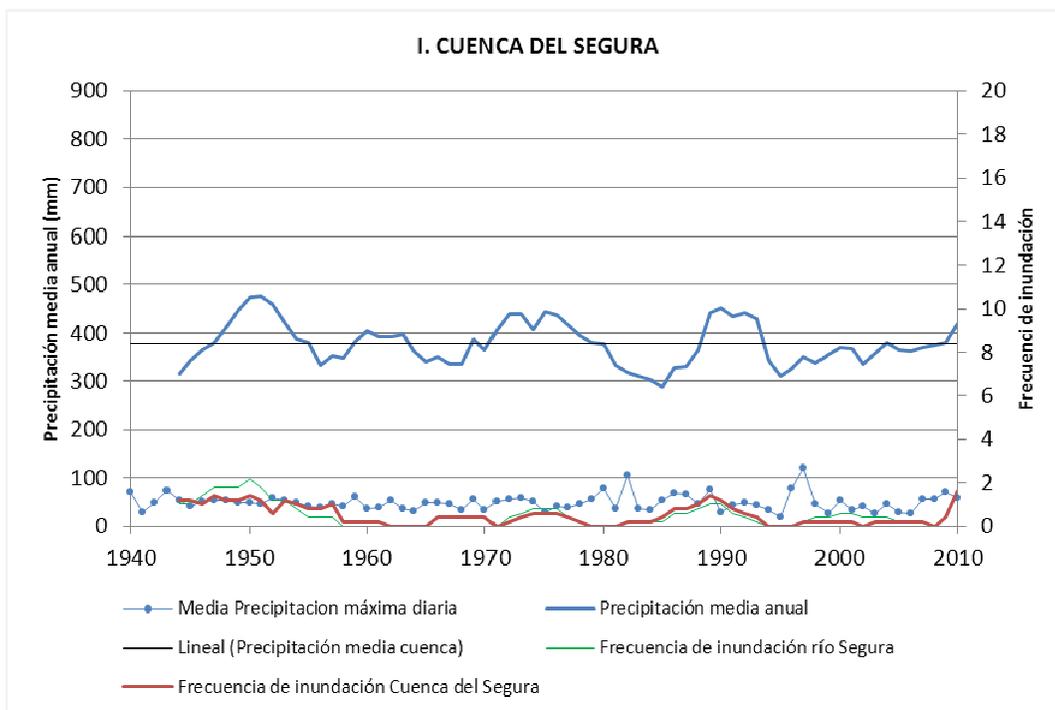


Figura 7.I. Frecuencia de las inundaciones (media móvil 5 años), precipitación anual (mm; media móvil 5 años) y media de las precipitaciones máximas diarias (Albacete, Alicante, Murcia) de la cuenca del Segura, para el periodo 1940-2010. Fuente: CNIH (DGPC, 2011); SIA (MAGRAMA, 2013); AEMET (2013).



Figura 8. Cuenca del río Urumea (276 km²). Se indica la ubicación de una presa existente en la cuenca (Añarbe, con 44 hm³ de capacidad).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

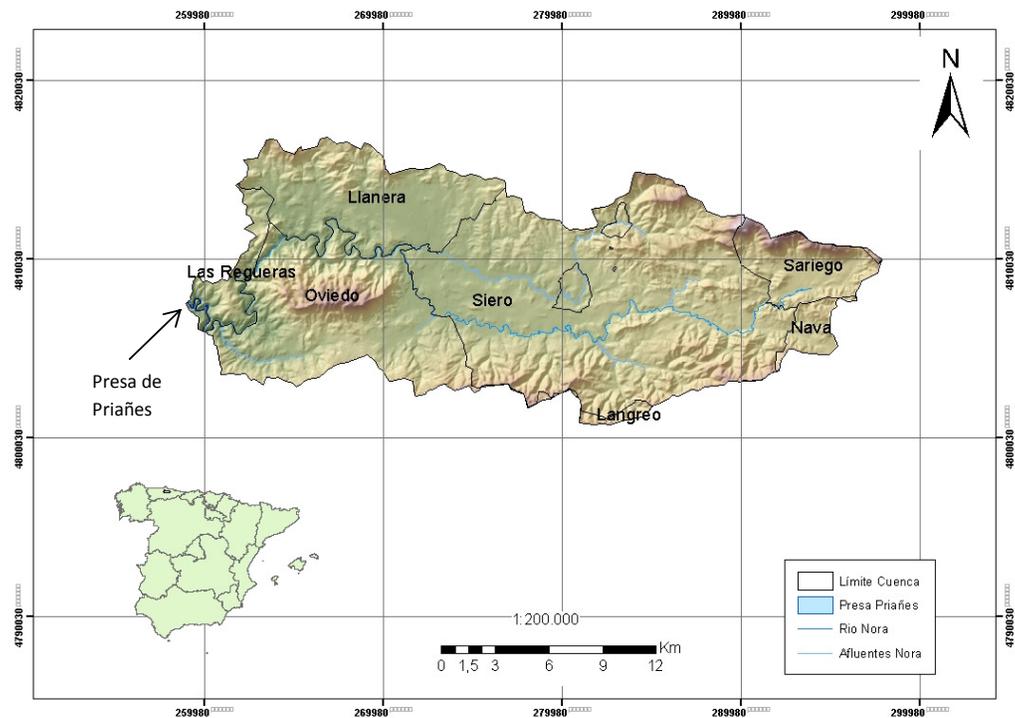


Figura 9. Cuenca del río Nora (382 km²). Se indica la ubicación de una presa existente en la cuenca (Priañaes, con 2 hm³ de capacidad).

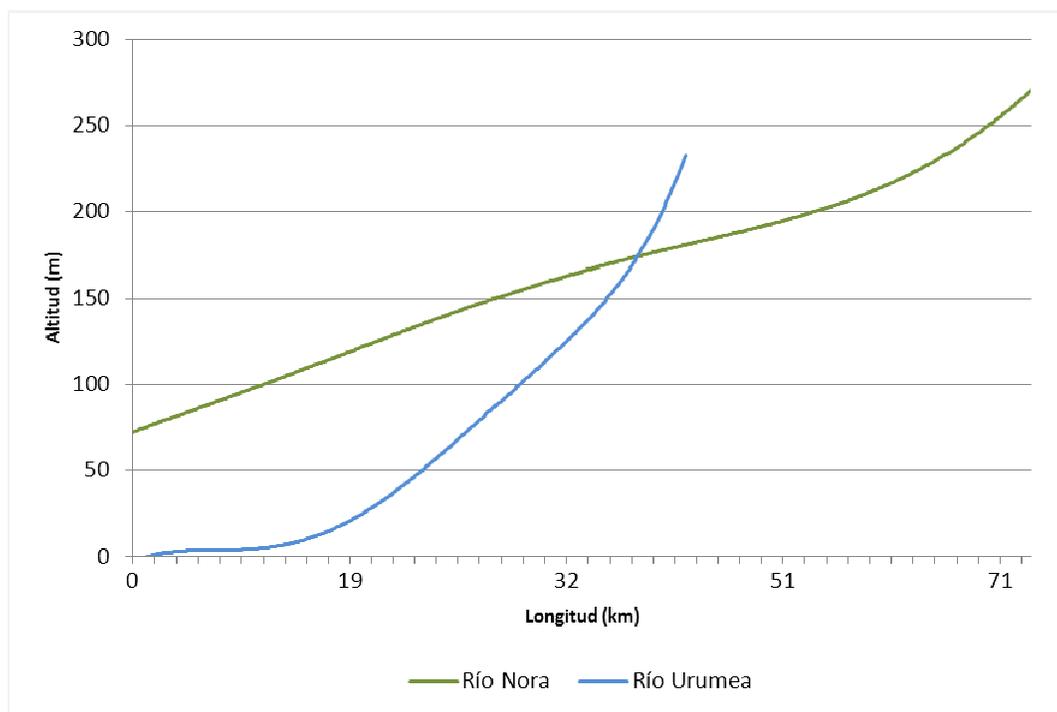


Figura 10. Perfil longitudinal de los ríos Urumea y Nora.

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

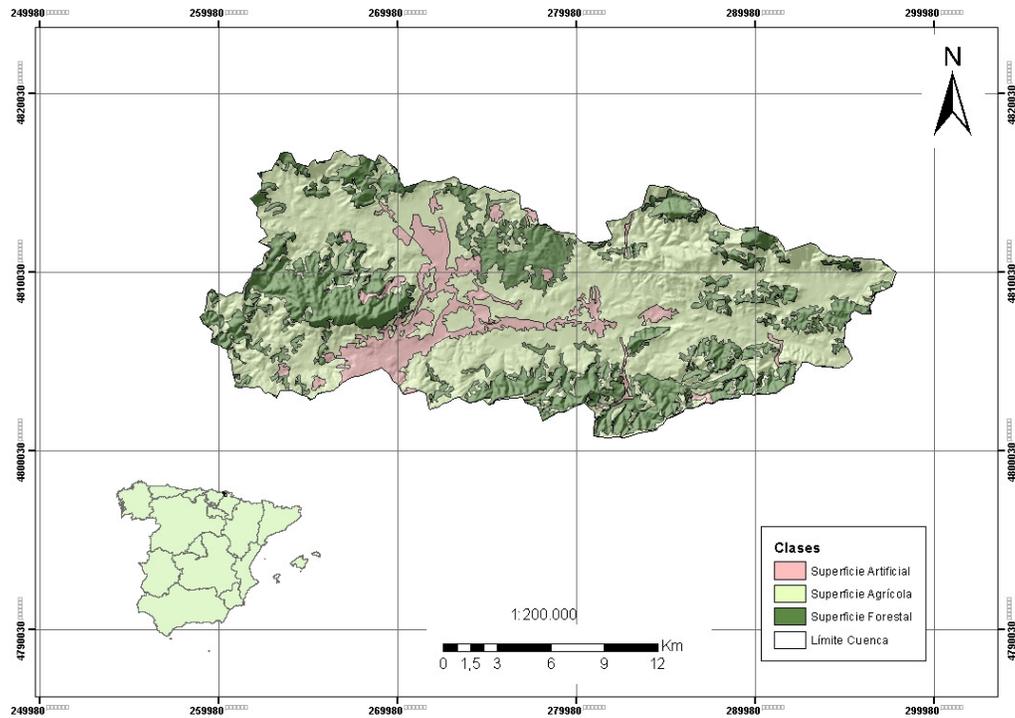


Figura 11. Usos del suelo en la cuenca del río Nora, a partir de CORINE Land Cover 2006 (Coordenadas ETRS_1989_UTM_Zone_30). Fuente: IGN (2013).

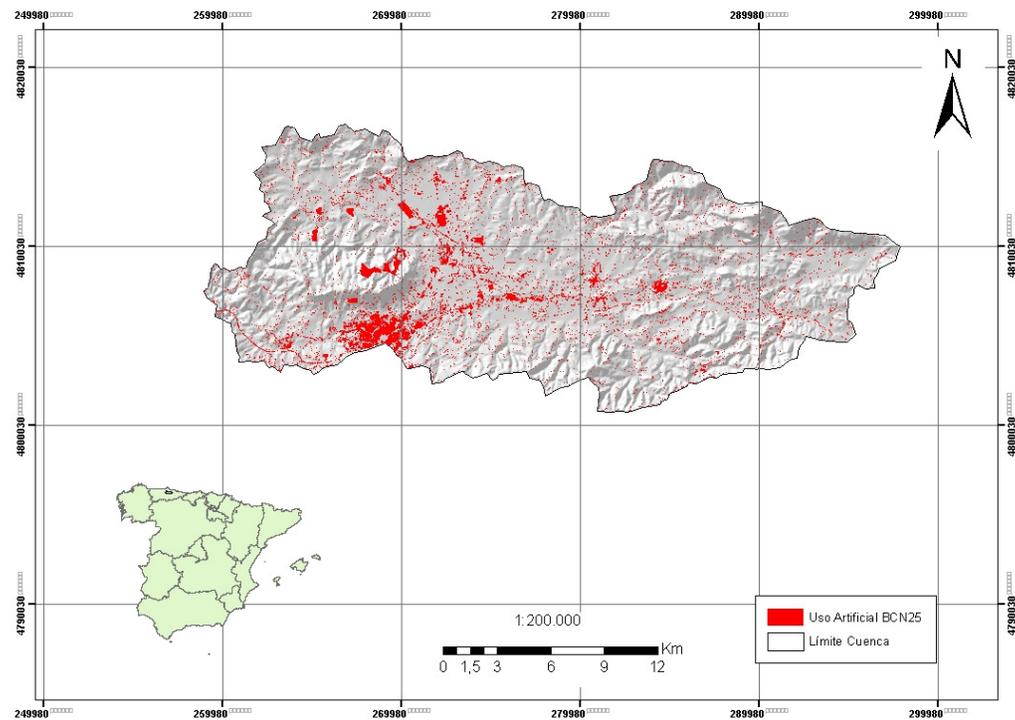


Figura 12. Usos artificiales del suelo en la Cuenca del Nora, a partir de los elementos cartografiados en la BCN25 (2009), Coordenadas ETRS_1989_UTM_Zone_30. Fuente: IGN (2013).

Evolución temporal de la frecuencia, magnitud y daños por inundaciones, e identificación de los factores determinantes.

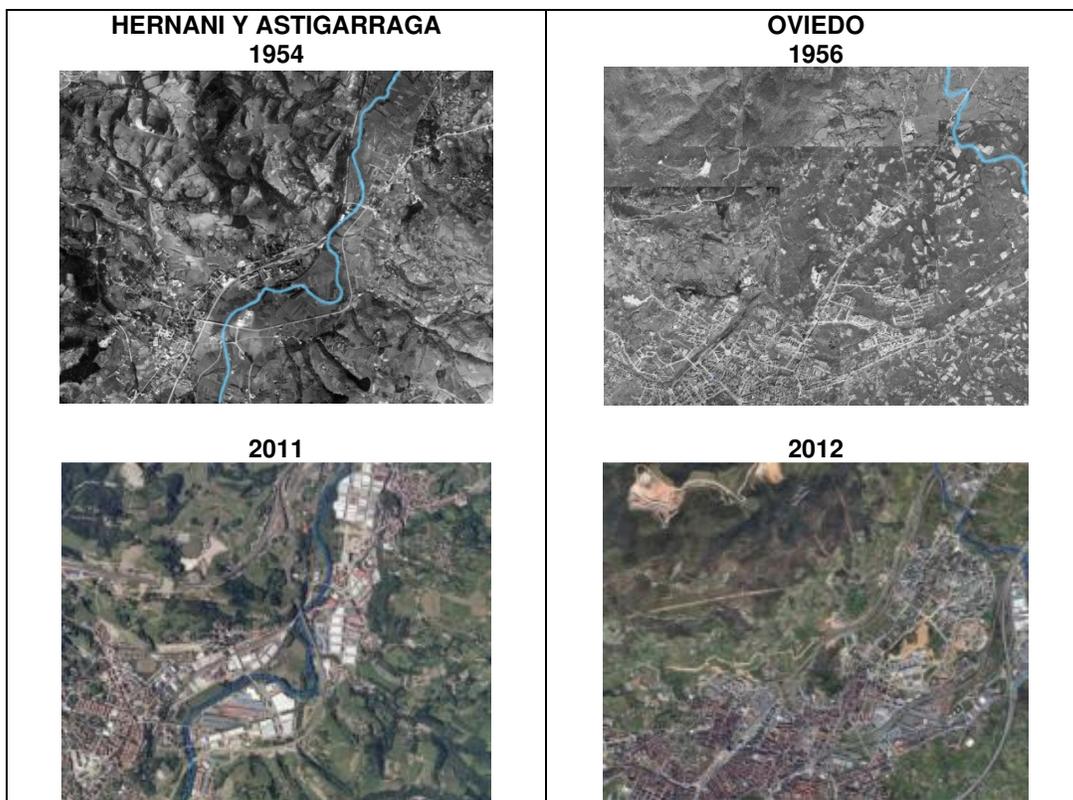


Figura 13. Diferencias en los usos del suelo en las ciudades de Hernani y Astigarraga entre 1954 y 2011, y entre 1956 y 2012 en la ciudad de Oviedo. Fuente: IGN (2013); IDE de Euskadi (2013).

