



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

## La reconstrucción de la dinámica fluvial y su conexión con la variabilidad climática a partir de fuentes documentales y registros instrumentales

Juan Carlos Peña Rabadán

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) i a través del Dipòsit Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) y a través del Repositorio Digital de la UB ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tdx.cat](http://www.tdx.cat)) service and by the UB Digital Repository ([diposit.ub.edu](http://diposit.ub.edu)) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

## **1. INTRODUCCIÓN**



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Contexto general y estado de la cuestión

Durante los últimos años el tema que se centra en el calentamiento global y los eventos hidrológicos extremos ha acaparado la atención pública, principalmente por dos motivos: primero, el Cambio Climático y sus repercusiones sobre sistemas naturales y sociales, y como tal forman parte de las agendas políticas, tanto a nivel internacional como nacional (Stern, 2007; IPCC, 2014); y segundo, el número de víctimas y el incremento exponencial de los daños económicos durante el periodo comprendido entre 1950 y 2007 causados por catástrofes naturales, particularmente en regiones montañosas (Abegg, 2007). En Europa las inundaciones, analizando las magnitudes, frecuencias y fuerzas desencadenantes, tienen un papel fundamental en el debate sobre la sensibilidad de los sistemas naturales y antrópicos tanto a nivel teórico como en el análisis de casos concretos (Huang et al., 2007; Schulte et al., 2008a; Hoffmann et al., 2008). Las inundaciones acaecidas en los Alpes Suizos durante el mes de agosto del 2005 dieron un nuevo impulso para retomar este tema a una escala regional y local, prestando especial énfasis en los aspectos particulares de variables y procesos de alta montaña (Weingartner, 1997; Weingartner et al. 2003; Weingartner et al. 2004; Schulte et al., 2004, 2015; Jäggi et al., 2007; Abegg, 2007; Burger, 2008; Peña et al., 2015b,c). La explicación de estos procesos, ponerlos en relación con el clima pasado y su relación con el cambio ambiental tiene una importancia significativa para el futuro de nuestras sociedades. Sin embargo, las respuestas al cambio global son muy complejas y pueden variar según la región. Por esta razón, existe una necesidad de llevar a cabo estudios casuísticos que investigan con la mayor precisión y exactitud el posible comportamiento y evolución de los sistemas naturales, que en nuestro caso se centrará en los hidrográficos.

Los eventos hídricos extremos pueden mostrar una elevada sensibilidad a modestos cambios ambientales, especialmente, a los cambios climáticos (Benito et al., 1996; Knox, 2000; Weingartner, 2003), cuyas señales son difíciles de detectar utilizando la medida de las condiciones hidrológicas medias (Benito et al., 2005). Las variaciones en los patrones hidroclimáticos son detectados por un cambio que se produce en el patrón de magnitud y frecuencia de eventos extremos (Benito et al., 2006). Estas variaciones aparecen durante pulsaciones frías (Schulte et al., 2009a; 2015), especialmente en sus estadios iniciales y finales (Benito et al., 2006; Ortega y Garzón., 2009), periodos caracterizados por una gran complejidad atmosférica, respuesta a la influencia de forzamientos como

la actividad solar, las erupciones volcánicas o los avances de los glaciares, entre otros, que en conjunto sintetizan el pulso climático (Barriendos y Martín-Vide, 1998; Barriendos y Llasat, 2003; Starkel, 2003; Mayewski et al., 2004; Vaquero, 2004; Llasat et al., 2005; Benito et al., 2003; Benito et al., 2006). A pesar de la aceptación de este modelo, se ha observado un aumento significativo en la frecuencia de las inundaciones durante la segunda mitad del s. XX que rompe con el modelo establecido, si bien no existe todavía la suficiente perspectiva para ver si se confirma la tendencia al aumento de las avenidas de gran magnitud en el último periodo cálido (Ortega y Garzón, 2009). Para algunos autores este cambio en el modelo puede estar influido por un aumento de la vulnerabilidad y la exposición de las actividades humanas a las inundaciones por la expansión urbana hacia las zonas inundables (Piserra et al., 2005; Benito et al., 2006), aunque a este hecho hay que añadir la señal que constituye el cambio en el clima actual (Knox, 2000).

La sucesión de periodos de acumulación de inundaciones con los que donde la carencia es predominante, puede ser analizada a partir de los cambios globales o hemisféricos que se producen en los patrones de la circulación general atmosférica o del océano, que influyen tanto en la trayectoria de las tormentas como en los límites de las masas de aire (Hirschboeck, 1988; Knox, 2000). Esta aseveración queda respaldada por otros estudios (Barriendos y Llasat, 2003; Benito et al., 2005; Thorndycraft et al, 2006; Schulte et al, 2009a), que demuestran que a pesar de las evidentes diferencias climáticas de las regiones donde se han analizado los registros de paleoinundaciones, las dataciones de radiocarbono muestran como los grandes eventos hídricos se superponen en el tiempo, sugiriendo que los cambios en la circulación atmosférica a gran escala debidos probablemente a los forzamientos solares y climáticos inciden en el aumento de la probabilidad de presencia de periodos con exceso de inundaciones.

Existen numerosos estudios, tanto desde un análisis de los registros sedimentarios como de los documentales, que analizan estos cambios en la aparición de periodos con un predominio de las inundaciones. Desde trabajos pioneros como los de Knox, 1983 y Knox, 1984, para la zona de los EEUU se han ido sucediendo trabajos a medida que la Paleohidrología iba adquiriendo el status de disciplina científica. De esta manera, destacar el trabajo de Ely et al. (1993) que a partir del análisis de depósitos de inundación de 19 sistemas fluviales ubicados en Arizona y Utah (EEUU), presentaban una cronología de paleoinundaciones de los últimos 5.000 años donde se concluía el agrupamiento de inundaciones en épocas frías y de transición climática, y se analizaban inundaciones

contemporáneas que respondían a unas condiciones anómalas en la circulación atmosférica, planteando la hipótesis de que probablemente estas condiciones fueran prevalentes durante épocas de inundaciones pasadas. Similares estudios se han venido realizando para distintas regiones del continente europeo, como en el área de Gran Bretaña (Lewin et al. 2005; Johnstone et al., 2006), para centro-Europa (Pfister, 1999; Mudelsee et al., 2003; Brázdil et al., 2005; Glaser y Stangl, 2003; Peña et al., 2015b,c; Schulte et al., 2008, 2009 y 2015) para Francia (Barriendos et al., 2003) o para la Península Ibérica (Barriendos y Martín-Vide, 1998; Benito et al., 2008; Ortega y Garzón, 2009). Pero ha sido a partir del desarrollo de las mallas basadas en el Reanálisis de las situaciones atmosféricas con una resolución diaria para la época contemporánea (20th Century Reanalysis Project: periodo 1871-2010, Kalnay et al., 1996; Compo et al., 2011; EMULATE Project, Ansell et al., 2006: periodo 1850-2010), y, a la vez, las reconstrucciones paleoclimáticas a nivel mensual (Luterbacher et al., 2002: periodo 1659-1999), cuando se pueden evaluar de manera más precisa los cambios producidos en la circulación atmosférica en la incidencia de las inundaciones. Estas nuevas herramientas de análisis han permitido el análisis de los cambios en la circulación atmosférica en los últimos siglos (Jones et al., 1999; Jacobeit et al., 2003; Beck et al., 2006; Philipp et al., 2007) y su relación con algunas variables climáticas tales como la temperatura y la precipitación (Jacobeit et al., 2001; Xoplaki et al., 2004; Luterbacher et al., 2006). Del mismo modo, los progresos que se han venido realizando en los últimos años en la reconstrucción de las paleoinundaciones a partir de registros sedimentarios y fuentes documentales han permitido el análisis de la variabilidad en la frecuencia de las avenidas históricas con respecto a la dinámica de circulación atmosférica, si bien los estudios han estado centrados en la Europa Central (Sturm et al., 2001; Jacobeit et al., 2003; Wanner et al., 2004). Se puede destacar el estudio de Jacobeit et al., 2003 donde se analiza las relaciones entre las principales inundaciones desde el año 1500 a partir de fuentes documentales del río Main y las partes centrales de los ríos Rhine, Elbe y Weser, con los modos de circulación a gran escala. Se concluye que el modo con una circulación predominante del oeste explica las inundaciones actuales y está en relación con el aumento de la fase positiva de la NAO de los últimos decenios (explicando el periodo cálido contemporáneo), mientras que en las épocas históricas (correspondiente a las últimas fases de la Pequeña Edad de Hielo) predomina el modo definido por el anticiclón siberiano desplazado hacia el oeste, produciendo una situación de bloqueo obligando a las bajas atlánticas a tomar una trayectoria noroeste a sudoeste.

Tal como se describía en la memoria del proyecto del Ministerio de Educación y Ciencia (MEC, CGL2006-01111) con título “Fluvial Variability in the Alps during the last 3000 years: Climate change, land use and associated flood risks” (FluVALps 3000 project, 2006-2009), los medios alpinos son climáticamente sensibles a los cambios en la circulación de la atmósfera a escala global y a la incidencia de las precipitaciones extremas en las inundaciones. En estos ámbitos, los grandes eventos hídricos extremos son el resultado de la intensidad y la frecuencia de las precipitaciones extremas, el papel de los glaciares, la fusión de la nieve y otros fenómenos como los usos del suelo que pueden modificar considerablemente los ecosistemas de montaña y la dinámica del sistema fluvial (Peña et al., 2014). La reconstrucción climática en los medios alpinos a resolución decadal o incluso anual de los últimos milenios se ha realizado generalmente a partir de proxies, tales como registros lacustres, glaciares, dendrocronología y estudios isotópicos de espeleotemas (Tinner et al., 2003; Chapron et al., 2005; Casty et al., 2005a, b; Holzhauser et al., 2005; ALP-IMP, 2006; Boch y Spötl, 2008). Los Alpes y sus áreas limítrofes disponen también de un número amplio de estudios sobre reconstrucciones históricas de inundaciones y de variabilidad climática a partir de fuentes documentales y registros instrumentales (Gees, 1997, 1998; Pfister, 1999; Casty et al., 2005a; ALP-IMP, 2006; Luterbacher et al., 2004; Weingartner et al. 2004; Burger, 2008).

A pesar de estos avances, no existen estudios que relacionen la variabilidad climática, tal como los cambios que se producen en la circulación atmosférica tanto a escala global como sinóptica, y las inundaciones, para medios estrictamente alpinos, fuera claro está de los estudios citados anteriormente a una escala más general, implicando otros ámbitos, en los que se coge normalmente la ventana espacial de centro Europa. En este sentido, cabe destacar el National Centre of Competence in Research Climate (NCCR) con sede en Berna. El objetivo del centro es comprender mejor el sistema climático mediante la realización de investigaciones interdisciplinarias sobre su variabilidad y su potencial para el cambio, con líneas de investigación basadas en la reconstrucción del clima pasado y el impacto del riesgo climático en la economía y la sociedad. Dentro de estas líneas de investigación cabe destacar el proyecto PALVAREX (Paleoclimate Variability and Extreme Events) cuyo objetivo, entre otros, es entender y analizar cómo ha sido el clima en Europa en el periodo comprendido entre los años 1.000 y el 1.500 y cuanto es de diferente comparado con el periodo 1.500-2.000. Dentro del proyecto se han desarrollado temas como la variabilidad de la circulación atmosférica global durante las últimas centurias (Jacobeit et

al., 2002; Luterbacher et al., 2002; Casty et al., 2005a; Pauling et al., 2005; Brönnimann et al., 2009), la variabilidad climática y reconstrucciones climáticas pasadas en temas referentes a la temperatura y precipitación (Mann et al., 2001; Luterbacher et al., 2004; Casty et al., 2005b; Casty et al. 2007; García-Herrera et al., 2007; Luterbacher et al., 2010), el análisis de los eventos extremos (Xoplaki et al., 2005; Della-Marta et al., 2007a; 2007b), la variabilidad en los forzamientos climáticos (Fischer et al., 2007), estudios paleofenológicos (Schleip et al., 2008; Rutishauser et al., 2009), análisis paleohidrológicos (Glaser et al., 2005; Pfister et al., 2006; Lamentowicz et al., 2010), y la aplicación de las reconstrucciones pasadas en escenarios climáticos futuros (Raible, 2006). Los estudios citados inciden en el clima pasado, su relación con otras variables influidas directa o indirectamente por el clima y el cambio de frecuencia en los patrones de circulación atmosférica, pero no se tiene constancia de trabajos donde se analicen la relación de las inundaciones con los modos y patrones de la dinámica atmosférica en los medios alpinos, a excepción de algunos análisis de tipo descriptivo (Gees, 1997; Pfister, 1999).

Los métodos utilizados son muy variados y son muchos los proyectos que implican distintas instituciones, tanto a nivel europeo como nacional que han desarrollado metodologías para abordar la variabilidad paleoclimática y la relación con eventos extremos, como puede ser el caso de las inundaciones. Destacar el citado “Paleoclimate Variability and Extreme Events” (PALVAREX, 2010), o anteriores como el “Flood Frequency and Public Risk Management in Historical Perspective” (FLOODRISK, 1997-2001); “Extreme hydrological Events in central Europe since 1500” (EXTREME, 1500 Project, 1999-2001); “Systematic, Palaeoflood and Historical data for the improvement of flood Risk Estimation” (SPHERE, 2000-2002); “Project European and North Atlantic daily to multidecadal climate variability” (EMULATE, 2002-2006); el “Multi-centennial climate variability in the Alps based on Instrumental data, Model simulations and Proxy data” (ALP-IMP, 2003-2006); y el “European Climate of the Last Millennium” (MILLENNIUM, 2006-2009). Dentro de un ámbito más regional cabe reseñar el “Analysis of Historical Floods for a Preventive Risk Management of Extreme Floods” de la University of Freiburg (XFLOODS, 2005–2007) para Alemania; el “Fluvial Variability in the Alps during the last 3000 years: Climate change, land use and associated flood risks” (FluVAlps 3000 project, 2006-2009); el “Alpine rivers Sensitivity to Global Change: records high-resolution paleoenvironmental modeling extreme hydrological Events” (FluVAlps Plus, 2010-2012), ambos para los Alpes Suizos; y el actual “Análisis multi-proxy de paleoinundaciones en zonas de relieves montañosos.



Factores motrices y efectos en el pasado, presente y futuro” ([FluVAIps-Iberia, 2014-2016](#)), centrado en el transecto Alpes-vertiente mediterránea de la Península Ibérica; finalmente cabe destacar el proyecto “Simulación y diagnóstico de periodos históricos (últimos cinco siglos) de extremos hídricos y su variabilidad en la Península Ibérica mediante modelos atmosféricos regionales” ([RAMSHES, 2002-2005](#)) para el ámbito de la Península Ibérica. Todos ellos, en mayor o menor medida, proponen y desarrollan métodos, de los que interesan aquellos que realizan una clasificación tanto de los modos de variabilidad de la circulación atmosférica y de los patrones sinópticos que nos ayuden a explicar los eventos hídricos de índole extremo a una escala multi-decadal y multi-centennial.

## 1.2. Justificación tesis

La tesis se enmarca en los proyectos de investigación multidisciplinario llevados a cabo en el marco del Grupo de investigación PaleoRisk de la Universidad de Barcelona: FluVAIps-3000 (CGL2006-01111), FluVAIps Plus (CGL2009-01111) y FluVAIps-Iberia (CGL2013-43716-R) que se centran en la variabilidad del Holoceno Tardío y la dinámica fluvial histórica en las cuencas alpinas. Uno de los objetivos del proyecto es examinar el potencial de un registro de depósitos fluviales de 3.600 años, para la evaluación de los riesgos de inundación ([Schulte et al., 2009a](#)). Para ello se consideran métodos sedimentológicos y geocronológicos aplicados a los registros fluviales de varias secciones de los abanicos deltaicos del tramo superior del río Aare, ubicado en el ámbito de los Alpes berneses, y se analiza la influencia de los factores externos, tales como la variabilidad climática y el uso del suelo, en los procesos de agradación y paleo-crecidas. El desarrollo de un modelo piloto en condiciones fisiográficas óptimas permitirá la transferencia de la metodología a otras zonas de alta montaña ([MEC, CGL2006-01111](#)).

Los datos sedimentarios de alta resolución de los abanicos deltaicos muestran hasta nueve niveles de inundación de grano grueso ([Schulte et al., 2009b](#)), depositados durante los últimos 3.350 años por las inundaciones catastróficas en un intervalo de recurrencia medio de 370 años (entre 580 y 200 años), y eventos hídricos extremos que ocurren en intervalos menores, de entre 70 y 150 años (promedio del periodo de 116 años). Los datos indican que las grandes inundaciones coinciden esencialmente con anomalías positivas de radiocarbono (fases caracterizadas por una disminución de la actividad solar) y fases frías en los Alpes ([Peña et al., 2015b,c](#); [Schulte et al., 2015](#)). Estos datos quedan

confirmados en la reconstrucción histórica de las inundaciones de los ríos Rhine, Rhône y Reuss de los últimos 500 años (Pfister, 1999). De esta manera, hay un aumento significativo de inundaciones durante las fases frías de la Pequeña Edad de Hielo (1550 a 1580 y de 1827 a 1875), aunque los datos también muestran que existen largos periodos sin inundaciones importantes durante periodos fríos (1641-1706), como el Mínimo de Maunder. En la Península Ibérica estos datos quedan respaldados por Benito (2006) y Benito y Thorndycraft (2006) y para Cataluña por Barriendos y Martín-Vide (1998). Los estudios constatan una mayor frecuencia de grandes crecidas durante los estadios iniciales y finales de periodos fríos como la Pequeña Edad de Hielo (periodo 1550-1850).

Los temas arriba apuntados se analizan y profundizan en la tesis, desarrollando metodologías con aplicación en los medios alpinos en general y Suiza en particular, con el fin de explicar las relaciones entre los eventos hídricos extremos (inundaciones) y los factores motrices de origen endógeno y exógeno. La intención del estudio aquí presentado es la siguiente:

- proporcionar a las autoridades locales datos que faciliten la evaluación de los riesgos naturales,
- el desarrollo de metodologías robustas susceptibles de aplicación en ámbitos semejantes gestionados por entes tanto locales como nacionales,
- y obtener unas conclusiones válidas con el propósito de participar en la discusión sobre el futuro de los fenómenos extremos en el marco del actual calentamiento global.
- Por último, cabe remarcar que la importancia del estudio estriba en el conocimiento del comportamiento del fenómeno a partir de los datos observados para obtener un patrón de comportamiento objetivo y poder comparar con periodos pasados con una ausencia de observaciones pero que se han identificado a partir de proxies tales como los registros sedimentarios, sedimentos procedentes de lagos o fuentes documentales, entre otros muchos.

### 1.3. Hipótesis

El trabajo inicial de recopilación bibliográfica ha permitido realizar un enfoque global del estado de la investigación y adaptar lo que han hecho

otras investigaciones a la realidad de la investigación que se inicia (Prohom, 2003). Se crea de esta manera un esquema mental previo que permite el planteamiento de toda una serie de hipótesis previas al desarrollo del estudio. De esta manera, se han planteado dos hipótesis de trabajo a las que se intentarán dar respuesta a lo largo de la tesis:

- La señal temporal de las inundaciones en Suiza no es estacionaria y muestra una variabilidad mayoritariamente relacionada con las fases de baja actividad solar y pulsaciones climáticas frías tal como se ha detectado en otras zonas.

Desde un punto de vista paleo-ambiental, es posible distinguir periodos caracterizados por una mayor incidencia de las grandes inundaciones. Estos periodos se identifican con pulsaciones frías especialmente en sus estadios iniciales y finales, periodos caracterizados por una gran complejidad atmosférica, respuesta a la influencia de forzamientos como la actividad solar, las erupciones volcánicas o los avances de los glaciares, entre otros, que en conjunto sintetizan el pulso climático. La aparición de estas pulsaciones da como resultado cambios globales o hemisféricos que se producen en los patrones de la circulación general atmosférica u oceánica, que influyen tanto en la trayectoria de las tormentas como en los límites de las masas de aire.

- Hay un cambio del patrón hidro-climático en Suiza a partir del año 1977 coincidiendo, precisamente, con la última pulsación climática cálida.
- A pesar de la aceptación de un modelo general que relaciona el aumento de las inundaciones con pulsaciones frías y baja actividad solar, se han observado anomalías del modelo con un aumento significativo en la frecuencia de las inundaciones a partir del último tercio del siglo XX en diferentes zonas del continente europeo, si bien no existe todavía la suficiente perspectiva para ver si se confirma la tendencia al aumento de las avenidas de gran magnitud en el último periodo cálido. Si bien esta tendencia pueda estar influida por una presión antrópica de las zonas inundables (aumento de la exposición de los bienes y la vulnerabilidad), no hay que menospreciar la incidencia de las diferentes señales climáticas en este aumento y analizar si este patrón cálido se ha observado en el pasado.

#### **1.4. Objetivos generales y específicos**

El estudio analiza los posibles vínculos entre la variabilidad de las inundaciones de verano en Suiza y la actividad solar (forzamiento exógeno), erupciones volcánicas, la variabilidad del clima y la dinámica del Atlántico Norte (forzamientos endógenos), en el periodo 1800-2010.

- La variabilidad de las inundaciones en Suiza se determina a partir de un índice estival de daños por inundaciones, sintetizando tanto la gravedad como la extensión espacial. El índice considera las inundaciones muy graves y catastróficas a partir de los detallados inventarios existentes. Se da especial atención a las diferencias de la dinámica de las inundaciones entre las laderas norte y sur de los Alpes.
- La influencia de los forzamientos exógenos y endógenos en las frecuencias de inundación se investiga mediante la aplicación de un análisis en el dominio de la frecuencia para detectar periodicidades comunes.
- Relación entre las inundaciones en Suiza con los proxies solares y climáticos para evaluar su aparición durante periodos fríos.
- Por último, el análisis de los posibles vínculos entre las inundaciones y la dinámica del Atlántico Norte se centra en los patrones de variabilidad atmosférica de baja frecuencia. El clima de verano en el sector norte del Atlántico europeo muestra un patrón principal de la variabilidad de año a año, aunque este patrón es más débil que la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) de invierno y está confinado a latitudes septentrionales. Por analogía la comunidad climatología se refiere a este patrón como el Oscilación de verano del Atlántico Norte (SNAO), que se define como la principal función ortogonal empírica de las anomalías estandarizadas de la presión del nivel medio del mar de Europa durante julio y agosto.

#### **1.5. Estructura de la tesis**

Se investigarán los vínculos entre la frecuencia de las inundaciones y el forzamiento solar, la variabilidad del clima y la dinámica del Atlántico Norte durante los últimos dos siglos en Suiza. La variabilidad y la frecuencia de las inundaciones se evaluarán a partir de la reconstrucción

de los eventos hídricos extremos para el periodo 1800-2010, combinando los registros documentales con registros instrumentales y otros proxy-data, siendo las fuentes documentales las que adquieren una mayor importancia para tal propósito. Se construirá un índice hídrico basado en los daños producidos por las inundaciones en base a los excelentes y detallados inventarios existentes para Suiza, que resumen tanto la gravedad como la extensión espacial del fenómeno. La validación y calibración del índice ha de permitir la reconstrucción climática causante de los eventos hídricos extremos. La influencia del forzamiento solar y el climático en la frecuencia de las inundaciones se investiga, en primer lugar, en base a un análisis espectral de las señales y, en segundo lugar, a partir de la aplicación de un análisis espectral cruzado entre el registro de las manchas solares y el índice hídrico con el fin de determinar las periodicidades comunes. Se ha utilizado la reconstrucción de la temperatura, los registros de berilio-10 (actividad solar) y los isótopos de oxígeno (proxy climático) para establecer correlaciones como herramienta para analizar los posibles vínculos. Por último, el análisis de los potenciales nexos entre las inundaciones en Suiza y la dinámica del Atlántico Norte se centra en un análisis de los modos de circulación atmosférica de baja frecuencia, establecer una tipología a escala sinóptica e identificar los posibles cambios de los patrones atmosféricos en relación a los periodos caracterizados por una alta frecuencia en las inundaciones, analizando los mecanismos tanto exógenos (actividad solar) como endógenos (clima) que influyen en esta variabilidad.

La tesis está organizada de la siguiente manera:

- En el capítulo 2 se habla del marco físico-geográfico y socioeconómico, además de las causas que influyen en la generación de las grandes inundaciones.
- En el capítulo 3 se describen las series de datos utilizadas.
- Una regionalización hidro-climática de Suiza se presenta en el capítulo 4.
- El índice daños debido a avenidas e inundaciones durante el verano se determina y se analiza en el capítulo 5.
- Un análisis temporal en el dominio de la frecuencia (análisis espectral) se realiza en el capítulo 6.

- En el capítulo 7 se relaciona las inundaciones en Suiza con posibles forzamientos externos (la actividad solar y la variabilidad climática).
- En los capítulos 8 y 9 se analiza el papel de la circulación atmosférica en la variabilidad de las inundaciones teniendo en cuenta tanto los modos de variabilidad atmosférica de baja frecuencia (capítulo 8), como los patrones sinópticos susceptibles de generar inundaciones (capítulo 9). Igualmente se definirán los patrones pluviométricos relacionados a cada modo de variabilidad (escala europea) y patrón sinóptico (para Suiza).
- El análisis de los patrones generales hidro-climáticos y los cambios observados en el periodo 1800-2010 se realiza en el capítulo 10.
- Finalmente, el capítulo 11 se centrará en las conclusiones y reflexiones finales.

