

Informes Conama sobre la defensa del medio natural

Soluciones ante los riesgos climáticos en ríos y costas



CONAMA 2020
CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Edita: Fundación Conama

Año: 2021



Este documento está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

El material de esta publicación puede ser usado libremente, compartido, copiado, reproducido o impreso atribuyendo a Conama la fuente y la propiedad. El material de esta publicación que se atribuye a terceras partes está sujeto a términos de uso y restricciones diferentes, de forma que estas terceras partes deben ser consultadas.

ISBN: 978-84-09-35690-4

DOI: 10.13140/RG.2.2.35479.50085

Referencia

Thomsen, A., Farinós, J., y Perero, E. (Coords). (2021). Soluciones ante los riesgos climáticos en ríos y costas. Fundación Conama.

Participantes del presente documento

Coordinadores

Anja Thomsen. Área técnica. Fundación Conama.

Joaquín Farinós Dasí. Catedrático de Geografía. Universidad de Valencia. Presidente. Asociación Interprofesional de Ordenación del Territorio (FUNDICOT).

Eduardo Perero. Área técnica. Fundación Conama.

Autores

Agustín Millares Valenzuela. Profesor. Universidad de Granada.

Andrés Díez Herrero. Profesor de investigación. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Antonio Oliva Cañizares. Técnico del Plan Vega Renhace. Universidad de Alicante.

Aránzazu Gurrea-Nozaleda Merayo. Jefa de servicio de protección de inundaciones. Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

Carmen María Martínez Saura. Técnico Ambiental de coordinación de proyectos. Asociación de Naturalistas del Sureste (ANSE).

Efrén Feliu Torres. Gerente de Cambio Climático. TECNALIA.

Fernando Miguel García Martín. Profesor Contratado. Universidad Politécnica de Cartagena.

Francisca Segura Beltrán. Catedrática de Geografía Física. Universidad de Valencia.

Francisco García Sánchez. Dr. Arquitecto. Universidad de Cantabria.

Francisco Javier Sanz Larruga. Catedrático de Derecho Administrativo. Universidad de A Coruña.

Gonzalo Magdaleno Payán. Jefe de Sección Técnica. Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Joaquín Farinós Dasí. Catedrático de Geografía. Universidad de Valencia. Presidente. Asociación Interprofesional de Ordenación del Territorio (FUNDICOT).

Jorge Olcina Cantos. Catedrático de Geografía. Universidad de Alicante.

José Francisco Sánchez González. Director Ingeniería de Costas. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

José María Bodoque del Pozo. Profesor titular. Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica. Universidad de Castilla-La Mancha.

Juan Francisco Arrazola Herreros. Jefe de Servicio. Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

María Salazar Guerra. Jefe de Servicio. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Marina Cantalejo Ibáñez. Investigador con Cargo a Proyecto. Universidad de Granada.

Miguel Ángel Pérez Martín. Profesor. Universitat Politècnica de València.

Miriam García Oliva. Investigadora. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Comité técnico

Agustín Millares Valenzuela. Profesor. Universidad de Granada.

Ana García Fletcher. Subdirectora adjunta. Dirección General de la Costa y el Mar, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Andrés Díez Herrero. Profesor de investigación. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Ángel Muñoz Cubillo. Subdirector General para la Protección de la Costa. Dirección General de la Costa y el Mar, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Anja Thomsen. Área técnica. Fundación Conama.

Antonio Oliva Cañizares. Técnico del Plan Vega Renhace. Universidad de Alicante.

Aránzazu Gurrea-Nozaleda Merayo. Jefa de servicio de protección de inundaciones. Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Carlos Vales. Director. Centro de Extensión Universitaria y Divulgación Ambiental de Galicia (CEIDA).

Carmen María Martínez Saura. Técnico Ambiental de coordinación de proyectos. Asociación de Naturalistas del Sureste (ANSE).

Clara Megías Baños. Área marina. Ecologistas en Acción.

Delia Álvarez Alonso. Responsable del Departamento de Medio Ambiente UGT País Valencià. Unión General de Trabajadores (UGT).

Eduardo Perero. Área técnica. Fundación Conama.

Ernesto Lluch Moreno. Director de Área Científica Técnica. Fundación Canal de Isabel II.

Fernando Miguel García Martín. Profesor Contratado. Universidad Politécnica de Cartagena.

Francisca Segura Beltrán. Catedrática de Geografía Física. Universidad de Valencia.

Francisco García Sánchez. Dr. Arquitecto. Universidad de Cantabria.

Francisco Javier Sanz Larruga. Catedrático de Derecho Administrativo. Universidad de A Coruña.

Gonzalo Magdaleno Payán. Jefe de Sección Técnica. Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Jesús Manuel Quero Ferrer. Secretario de Organización y Administración UGT Almería. Unión General de Trabajadores (UGT).

Joaquín Farinós Dasí. Catedrático de Geografía. Universidad de Valencia. Presidente. Asociación Interprofesional de Ordenación del Territorio (FUNDICOT).

Jorge Olcina Cantos. Catedrático de Geografía. Universidad de Alicante.

José Francisco Sánchez González. Director Ingeniería de Costas. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

José Francisco Mediato Arribas. Científico Titular de OPIS. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Jose M. Grassa. Adjunto a la Dirección. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

José María Bodoque del Pozo. Profesor titular. Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica. Universidad de Castilla-La Mancha.

José Sergio Palencia Jiménez. Profesor asociado. Universitat Politècnica de València.

Juan Francisco Arrazola Herreros. Jefe de Servicio. Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

María Salazar Guerra. Jefe de Servicio. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

María Jesús Martín Soldevill. Jefe de Área. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Marina Cantalejo Ibáñez. Investigador con Cargo a Proyecto. Universidad de Granada.

Miguel Ángel Pérez Martín. Profesor. Universitat Politècnica de València.

Miriam García. Directora. LAND LAB, laboratorio de paisajes S.L.

Miriam García Oliva. Investigadora. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Ramón María Gutiérrez Serret. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Sobre CONAMA

Conama es una fundación dedicada a promover redes de colaboración sobre el medio ambiente entre los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil, creando espacios de encuentro y diálogo y contribuyendo a la creación de conocimiento compartido en relación a la transición ecológica.

Conama se encarga desde 1992 de la organización del Congreso Nacional del Medio Ambiente, el mayor encuentro ambiental en España.

+ Info: www.fundacionconama.org

Este proyecto cuenta con la financiación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico a través de la convocatoria pública de subvenciones a entidades del Tercer Sector para actividades de interés general consideradas de interés social en materia de investigación.

Índice

1. La defensa del medio natural en los ámbitos fluviales y costeros	1
2. ¿Qué impactos climáticos hay y cómo evolucionarán?.....	3
2.1. Impactos climáticos en costas	3
2.1.1. Subida del nivel del mar	3
2.1.2. Erosión	9
2.1.3. Inundación	11
2.2. Impactos climáticos sobre los recursos hídricos	12
2.2.1. Recursos hídricos	12
2.2.2. Sequías e inundaciones	15
2.2.3. Impactos sobre la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.....	16
2.2.4. Impactos sobre los usos socioeconómicos del agua.....	18
2.3. Mejora del conocimiento sobre riesgos de inundación para su mejor identificación temporal y espacial.....	20
2.3.1. Impacto del cambio climático en las inundaciones	20
2.3.2. Metodología para la elaboración de cartografía de inundaciones pluviales ...	23
2.3.3. Ampliación de las capacidades del programa Iber.....	25
2.3.4. Mejora de la información de riesgo disponible en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)	26
2.3.5. Retos pendientes y nuevos trabajos	27
2.4. Respuesta erosiva y sedimentaria al cambio climático y global en cuencas mediterráneas de montaña.....	28
2.4.1. Introducción.....	28
2.4.2. Cuencas de montaña mediterránea como observatorios del cambio global..	29
2.4.3. Evaluación integral de procesos erosivos y sedimentarios	31
2.4.4. Nuevas herramientas y retos futuros	33

3. Marco estratégico	35
3.1. Bases jurídicas y normativas sobre la gestión de impactos climáticos en ríos y costas	35
3.1.1. Introducción.....	35
3.1.2. Normativa estatal relativa a los impactos del cambio climático en materia de aguas. En particular, la evaluación y gestión de riesgos de inundaciones.	36
3.1.3. Normativa estatal relativa a los efectos del cambio climático sobre las zonas costeras.....	39
3.1.4. Líneas futuras de trabajo	45
3.2. Políticas públicas en materia de costas.....	46
3.2.1. Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española.....	46
3.2.2. Plan Estratégico Nacional para la Protección de la Costa Española considerando los Efectos del Cambio Climático.....	48
3.2.3. Estrategias para la protección de la costa (por tramos).....	48
3.2.4. Planes para la protección del litoral.....	51
3.3. Políticas públicas en materia de ríos	52
3.3.1. Planes Hidrológicos.....	52
3.3.2. Los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación	54
3.3.3. Conclusiones.....	62
3.4. Políticas de Adaptación al Cambio Climático: PNACC 2021-2030.....	63
3.4.1. Agua y recursos hídricos	64
3.4.2. Costas y medio marino.....	66
3.4.3. Otras líneas de acción del PNACC	67

4. Soluciones ante los riesgos climáticos en ríos y costas	69
4.1. Percepción del riesgo y estrategias de autoprotección	69
4.1.1. Desarrollo de programas piloto de adaptación al riesgo de inundación y de fomento de la consciencia del riesgo de inundación en los diversos sectores económicos	69
4.1.2. Análisis de actores y su percepción ante el riesgo y las mejores medidas para reducirlos.....	77
4.1.1. Soluciones basadas en la educación en el riesgo dirigida a la población infantil	88
4.2. Análisis del riesgo y respuestas en la planificación.....	98
4.2.1. Construcción y validación de índices integrados de vulnerabilidad socioeconómica en zonas afectadas por avenidas súbitas.....	98
4.2.2. Integración de los impactos del cambio climático en los planes municipales	109
4.2.3. Incorporación de los riesgos naturales en la planificación territorial	120
4.2.4. Proyecto ESPON-TITAN: Impactos Territoriales de Peligros Naturales	133
4.2.5. Plan Vega Renhace: Una estrategia para la resiliencia territorial ante extremos atmosféricos naturales y para la adaptación al cambio climático.....	141
4.2.6. Medidas para la adaptación de la gestión del agua y la planificación hidrológica al Cambio Climático. Aplicación en la Demarcación del Júcar	156
4.2.7. Propuesta para superar el paradigma del periodo de retorno en el análisis y mitigación de los riesgos por inundaciones en ríos.....	165
4.3. Soluciones basadas en la naturaleza, infraestructura verde y restauración fluvial y costera	174
4.3.1. Restauración de sistemas dunares litorales.....	174
4.3.2. Proyecto DRAINAGE: Diseño de una metodología para incrementar la resiliencia ante inundaciones compatible con la mejora del estado de las masas de agua y la gestión sostenible de los recursos hídricos.....	184
4.3.3. Conexión hidrológica y mejora de hábitats en los meandros del tramo bajo del río Arga (Navarra)	195
4.3.4. Restauración hidrogeomorfológica en ramblas y ríos semipermanentes.....	207

4.3.5. Ejemplos de estrategias de intervención en núcleos urbanos costeros para la reducción de riesgos de inundación.....	216
4.3.6. Procesos erosivos y sedimentarios en ríos y costas. Retos de gestión y soluciones.....	223
5. Hacia unas líneas de trabajo futuro en ríos y costas	235
5.1. Unos diagnósticos claros, pero necesitados de actualización continua	235
5.1.1. Hacia una visión sistémica de conjunto en el medio y largo; pero focalizando y concentrando esfuerzos en el corto plazo y en los riesgos más importantes	237
5.1.2. El reto de contar con datos y mapas actualizados para la toma de decisiones	238
5.2. De los diagnósticos a los nuevos planes, programas y proyectos de actuación.....	241
5.2.1. Hacia una nueva práctica de la planificación basada en las nuevas evidencias del cambio climático.....	241
5.2.2. Combinando métodos duros y más blandos (bien fundamentados metodológicamente y legitimados por resultados)	243
5.3. La necesidad de un tratamiento diferenciado por áreas, aprendiendo de la experiencia de algunas de ellas	246
5.3.1. El espacio urbano como centro de atención ante el riesgo de inundaciones	247
5.4. A modo de síntesis final: lecciones aprendidas y cuestiones abiertas de cara al futuro	251
6. Bibliografía	259

1. La defensa del medio natural en los ámbitos fluviales y costeros

La defensa del medio natural, como forma de preservar los servicios ambientales que el entorno ofrece a nuestra sociedad, ha sido uno de los objetivos de la acción ambiental de nuestro país que ha tenido distintos frentes. Entre los distintos entornos naturales, los sistemas hidrológicos y las áreas costeras son dos áreas claves, dado que generan hábitats de elevada biodiversidad que ofrecen numerosos servicios ambientales, motivo por el cual ha determinado el asentamiento de numerosas poblaciones que se han provisto de sus recursos.

La ordenación territorial de dichos asentamientos ha tenido distintas fases de relaciones con el ámbito costero e hidrológico, desde la segunda mitad del siglo XX, el desarrollo industrial, la expansión urbanística y la explotación del turismo ha determinado cambios territoriales significativos que han generado por un lado una alta presión e impacto a los recursos naturales en dichos ámbitos, comprometiendo muchos de sus servicios ambientales, y, por otro lado, ha situado a distintas poblaciones y actividades económicas en una alta vulnerabilidad.

Los fenómenos complejos como el cambio climático están impactando en nuestro entorno de forma múltiple que combinado con medios naturales bajo distintas presiones, ha dado un nuevo giro en el trabajo de la defensa del medio natural, que no sólo debe responder a los impactos presentes, sino también proyectar a futuro las previsiones de las distintas combinaciones, con el objetivo de dar respuestas anticipadas y adaptativas a la multiplicidad de los retos ambientales.

El presente trabajo ha sido concebido y desarrollado por el Comité Técnico CT.30 de Conama 2020, compuesto por expertos de distintas disciplinas, con el objetivo de analizar y apuntar soluciones a los retos ambientales que los ámbitos fluviales y costeros afrontan con enfoque de cambio climático, es decir, teniendo en cuenta los cambios previsibles que van a sufrir dichos sistemas en el futuro, considerando tanto las afecciones económicas, sociales y ambientales de especial relevancia que se derivan de dichos riesgos.

El motivo de trabajar conjuntamente ambos ámbitos que comparten similitudes, no es otro que generar aprendizajes cruzados entre ambos campos de conocimiento además de comprender mejor las interacciones que entre las mismas existen y acercar a sus profesionales en una visión más integradora.

El documento, en primer lugar da a conocer los impactos que tendrá el cambio climático en las costas y ríos en el ámbito español, especialmente los impactos relacionados con las inundaciones, sequías, subidas del mar, impactos en la calidad de las aguas y los procesos erosivos y sedimentarios en ríos y costas, además de líneas de trabajo dirigidas a mejorar el conocimiento sobre estos riesgos. A continuación, se presenta el actual marco estratégico, de planificación y normativo que enmarca el campo de la acción para afrontar estos riesgos de

manera adaptiva, donde destaca la Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española, el Plan estratégico nacional para la protección de la costa española, los planes de protección litoral, los Planes hidrológicos y los planes de gestión del riesgo de inundación y el Plan nacional de adaptación al cambio climático (PNACC 2021-2030), entre otros instrumentos.

Seguidamente, se muestran diferentes experiencias que permiten ilustrar posibles soluciones ante los riesgos climáticos en ríos y costas para inspirar a otros territorios u otros agentes y colaborar a su replicabilidad. Estas soluciones incluyen una amplia gama abarcando la percepción del riesgo y estrategias de autoprotección, el análisis del riesgo y respuestas en la planificación, y, por último, las denominadas soluciones blandas incluyendo las soluciones basadas en la naturaleza, la infraestructura verde y la restauración ecológica en sistemas costeros y fluviales.

Por último, se realiza un análisis de las futuras líneas de trabajo que se consideran interesantes afrontar, fruto del trabajo de los debates mantenidos tanto en el seno del Comité Técnico como en la sesión técnica pública que tuvo lugar en Junio de 2021 en el marco de la celebración del Congreso Nacional de Medio Ambiente (Conama 2020).

El presente documento ha sido posible gracias a la participación de un nutrido y experimentado grupo de autores que proveniente de administraciones públicas, centros de investigación, universidades y de distintas organizaciones, muestran cómo existe un campo de conocimiento importante en nuestro país que debe ser apoyado y debe estrechar más su colaboración, para avanzar tanto en el análisis como en el desarrollo de proyectos y propuestas de soluciones.

2. ¿Qué impactos climáticos hay y cómo evolucionarán?

2.1. Impactos climáticos en costas

Miriam García Oliva

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)

El Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [142] y el Informe Especial sobre Cambio Climático, Océanos y Criosfera (SROCC) [1], recogen más de 100 evidencias sobre los posibles impactos generales del cambio climático, de entre los cuales se pueden encontrar un gran número de impactos referidos a la costa y el medio marino.

En España, la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático en la Costa Española [172] da el diagnóstico sobre los efectos esperados, entre los que se incluyen: los retrocesos de línea de costa por subida del nivel del mar; la erosión en playas, dunas y acantilados; y la inundación de playas; con consecuencias como la pérdida de humedales y servicios ecosistémicos; los cambios en la operatividad de los puertos; la afección a la población por inundación permanente y los daños a infraestructuras.

2.1.1. Subida del nivel del mar

De acuerdo con el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [142], la subida del nivel del mar global, proyectada para los distintos escenarios de concentración de emisiones y horizontes temporales considerados, se puede observar en la

En cuanto al orden de magnitud de los cambios del nivel del mar en España el 'Informe de elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático' [196] da unas cifras de aumento, en torno a $0,13-0,17m \pm 0,03m$ en el corto plazo (periodo 2026-2045) y de $0,38-0,5m \pm 0,1m$, para el escenario RCP 4.5 y $0,52-0,68 \pm 0,15$, para el escenario RCP 8.5, en el largo plazo (periodo 2081-2100). La distribución espacial de estos aumentos se puede observar en la Figura 2.

Tabla 1 El Informe Especial sobre Cambio Climático, Océanos y Criosfera (SROCC) [1] da las siguientes estimaciones de cambio del nivel del mar a escala global, que se pueden observar en la Figura 1.

En cuanto al orden de magnitud de los cambios del nivel del mar en España el ‘Informe de elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático’ [196] da unas cifras de aumento, en torno a 0,13-0,17m±0,03m en el corto plazo (periodo 2026-2045) y de 0,38-0,5m±0,1m, para el escenario RCP 4.5 y 0,52-0,68±0,15, para el escenario RCP 8.5, en el largo plazo (periodo 2081-2100). La distribución espacial de estos aumentos se puede observar en la Figura 2.

Tabla 1: Proyecciones de Nivel Medio del Mar del AR5 [142].

Escenario de emisiones	Trayectoria representativa de concentraciones (RCP)	Aumento del nivel medio del mar (m)					
		2046-2065	2100	Escenario	2200	2300	2500
Bajo	2.6	0.24 [0.17–0.32]	0.44 [0.28–0.61]	Bajo	0.35–0.72	0.41–0.85	0.50–1.02
Medio bajo	4.5	0.26 [0.19–0.33]	0.53 [0.36–0.71]	Medio	0.26–1.09	0.27–1.51	0.18–2.32
Medio alto	6.0	0.25 [0.18–0.32]	0.55 [0.38–0.73]	Alto	0.58–2.03	0.92–3.59	1.51–6.63
Alto	8.5	0.29 [0.22–0.38]	0.74 [0.52–0.98]				

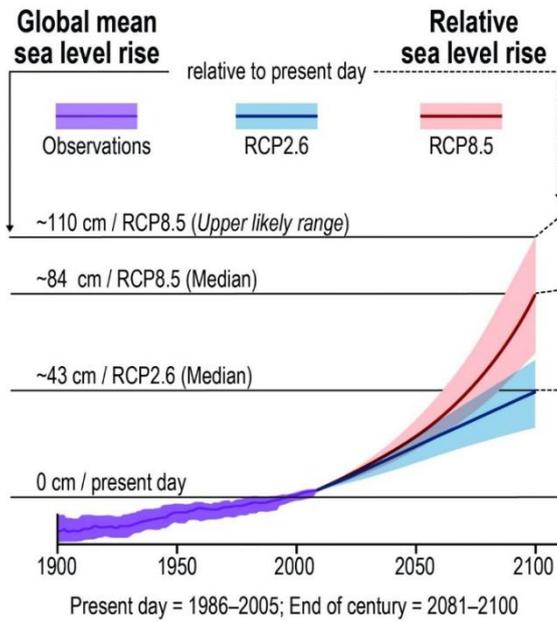


Figura 1: Proyecciones de Subida del Nivel del Mar (adaptado de [1])

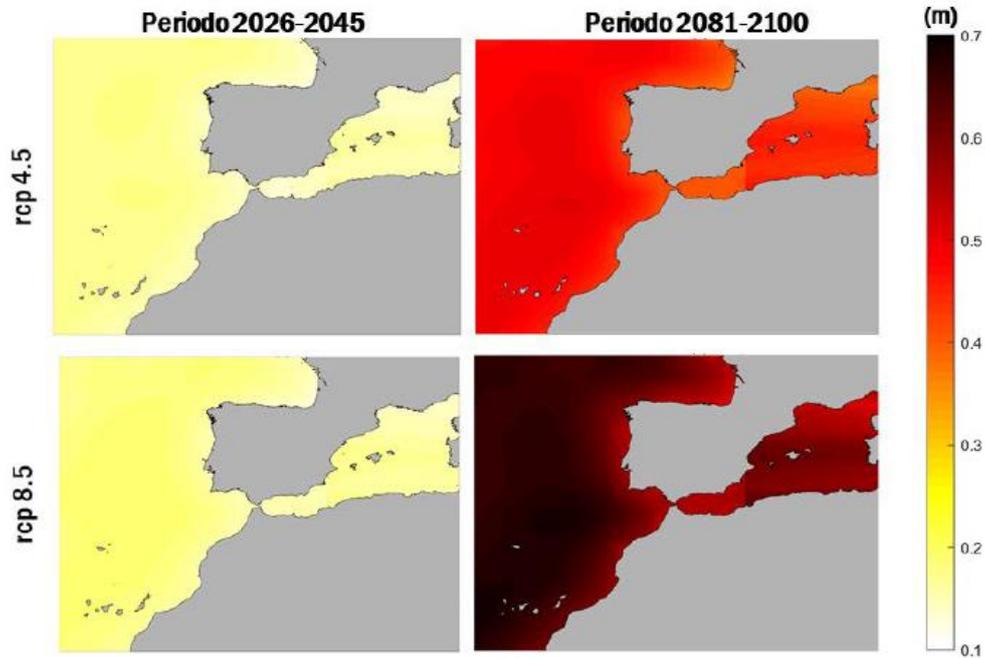


Figura 2: Proyecciones de Subida del Nivel del Mar (adaptado de [196])

Si se tiene en cuenta la altura de oleaje bajo las condiciones futuras de cambio climático, el informe del MITECO [196] da las siguientes distribuciones espaciales de los cambios para los distintos escenarios y periodos (Figura 3 y Figura 4). Como puede verse, para los valores medios se da una reducción en general, salvo para las zonas de Mar de Alborán y Canarias.

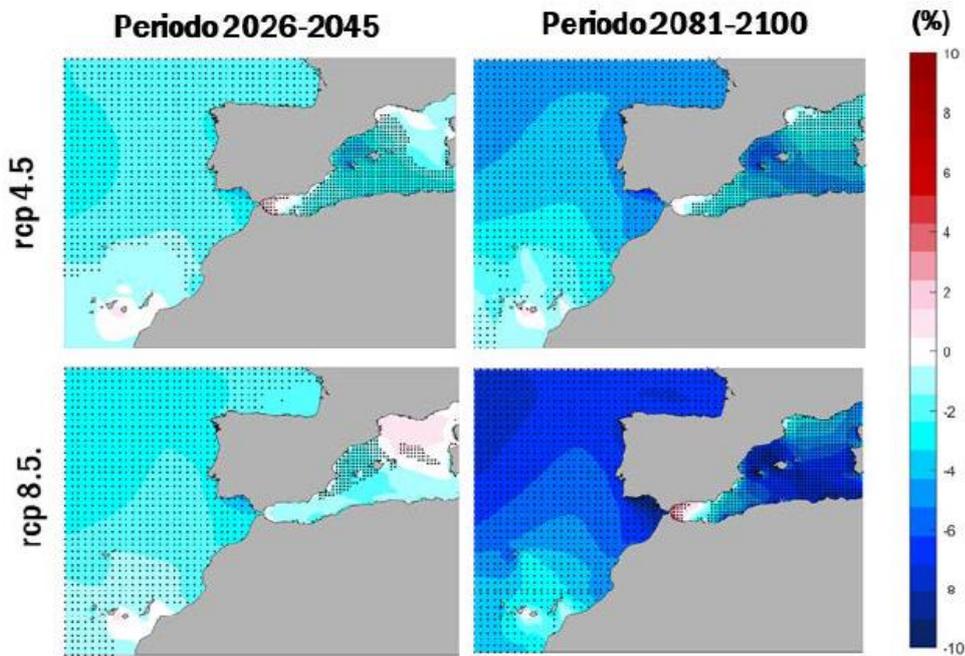


Figura 3: Cambios en el valor medio de la altura de ola significativa (adaptado de [196])

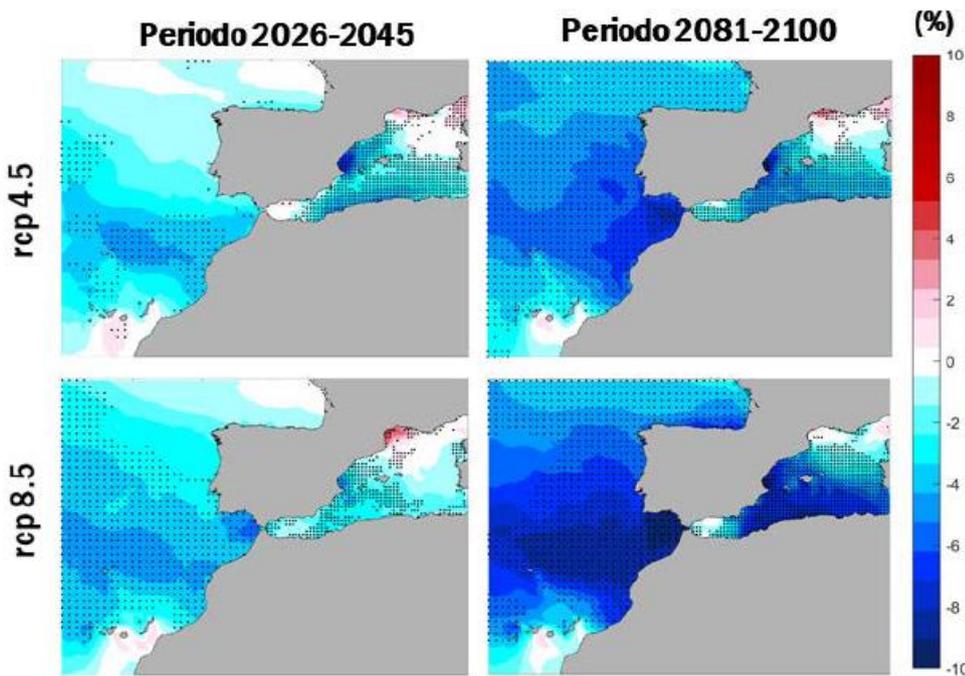


Figura 4: Cambios en el percentil del 99% de la altura de ola significativa (adaptado de [196])

Otro de los componentes del nivel total del mar sería la Marea Meteorológica, para la cual el mismo documento [196] da las siguientes proyecciones, como puede verse en la Figura 5. Para este aspecto, se puede observar una reducción generalizada, salvo en la zona Sur de Canarias.

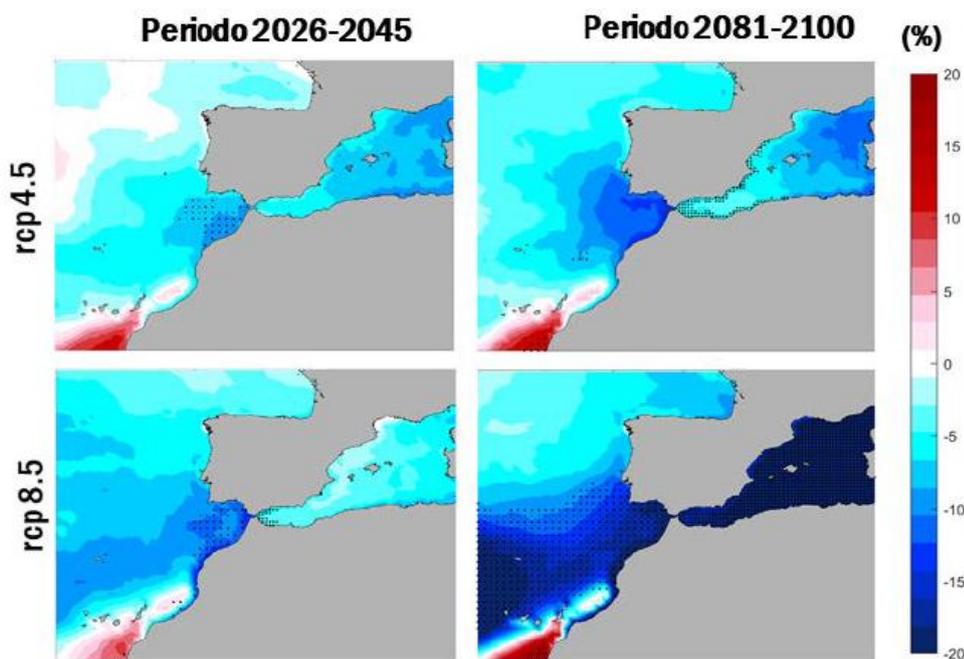


Figura 5: Cambios en el percentil 99% de la marea meteorológica (adaptado de [196])

En cuanto a los impactos de los anteriores cambios se puede mencionar lo siguiente:

- De la subida del nivel del mar se derivan consecuencias como la pérdida de anchura de playas por el retroceso de los perfiles e incluso se podría dar la desaparición total de algunos tramos de playa, daños a edificios e instalaciones portuarias e intrusión salina en zonas de cultivo. La desaparición de playas afectaría principalmente a las playas confinadas de menor anchura y pendiente, mientras que en algunas de las playas confinadas más anchas podría darse una reducción de su anchura sin llegar a desaparecer y en playas no confinadas el efecto puede ser más mucho reducido [55]. La ausencia de aportes de sedimentos en algunos puntos también agravaría algunos de estos efectos de retroceso en las playas. La ausencia de aportes de sedimentos en algunos puntos también agravaría algunos de estos efectos de retroceso en las playas.
- Por otra parte, los efectos de los temporales se ven también agravados por el aumento del nivel del mar. Para los temporales que causan un daño de una magnitud concreta se reduciría el período de retorno. Existen indicios de que los eventos extremos tendrán también mayor frecuencia de presentación, aunque no se tiene constancia de

ello aún. Cabe mencionar también que la mayor proximidad de las infraestructuras a la línea de costa les hace más vulnerables a los efectos de los temporales.

- Además del efecto de la subida del nivel del mar se suma el efecto de los cambios en la marea meteorológica. Aunque estos cambios de la marea meteorológica no sean tan grandes en comparación con los del nivel del mar, los niveles totales del agua tendrían influencia en los efectos anteriormente descritos.
- También cabe mencionar que la subida del nivel del mar hace que los daños esperables asociados al oleaje puedan ser mayores, con afección tanto a instalaciones portuarias y a estructuras de defensa costera como a cualquier actividad que tenga lugar en la costa.
- Hay que tener en cuenta, además, que en zonas como los deltas, donde se da la subsidencia del terreno y puede darse también pérdida de aportes sedimentarios, la subida relativa del nivel del mar es mayor que en otras zonas por ese motivo [140].

En relación a las anteriores ideas, la Estrategia de Adaptación [172] recoge varias conclusiones del diagnóstico del Proyecto C3E:

- El uso de escenarios obtenidos a partir de la extrapolación de las observaciones históricas infravalora el impacto que las emisiones presentes y futuras puedan tener sobre el nivel del mar.
- Los mayores impactos de la intrusión salina se esperan en el Delta del Ebro por la combinación del aumento del nivel del mar con la potencial reducción de caudales del río.
- La pérdida de praderas de *Posidonia oceánica*, emblemática del Mar Mediterráneo, así como el desplazamiento de algunas especies y la pérdida de humedales, sobre todo en el entorno rigidizado de las ciudades, y la pérdida de servicios ecosistémicos, serían impactos destacados en el medio ambiente costero-marino.
- El aumento de la cota de las obras de protección frente a la inundación costera, con la misma frecuencia de excedencias por eventos de inundación que la observada en el periodo 1986-2005, si se contemplara un escenario de aumento del nivel medio del mar de 50 cm en el periodo 2081-2100, sería de entre 40 y 60 cm en el Cantábrico.
- El número de habitantes afectados por provincia a lo largo de la costa entre Pontevedra y Guipúzcoa variaría entre el 1% y el 4% de la población de 2008, para un aumento de nivel del mar medio de 50 cm en el horizonte 2100.

2.1.2. Erosión

Las variaciones del nivel medio del mar y del oleaje son algunos de los factores modeladores de la zona litoral y tienen influencia en el balance erosión-deposición, en la extensión de los humedales y la erosión de los acantilados [55].

El diagnóstico del proyecto C3E, resumido en la Estrategia de Adaptación [172], recoge que la erosión seguirá dándose en playas, dunas y acantilados, principalmente por aumento en el nivel del mar y, en menor magnitud por causas debidas a la intensidad del oleaje o los cambios en la dirección del mismo.

En las zonas donde los cambios en la dirección media del oleaje sean relevantes, pueden darse cambios en los patrones del transporte de sedimento, la erosión y deposición de materiales y el basculamiento de la línea de playa.

La variación de la altura del oleaje afecta a la anchura del perfil activo en las playas y al transporte sedimentario, mientras que los cambios de los ángulos del flujo medio de energía llevan a modificaciones en la planta de las playas [55]. A este respecto, en MITECO (2019) [196] se presentan las proyecciones de los cambios en la dirección media del oleaje, sin cambios significativos, salvo cambios locales en el Mediterráneo, como puede verse en la Figura 6.

Los fenómenos erosivos y de acreción en playas también pueden verse afectados por los cambios en las corrientes marinas, aunque en mucha menor medida que los producidos por la subida del nivel medio del mar.

También hay que considerar que los impactos del cambio climático en cuanto a erosión costera dependen del tipo de costa, que se puede clasificar, según [55] en: costas bajas asociadas a desembocaduras, humedales y lagunas costeras, playas (confinadas por acantilados, estructuras artificiales, cabos o espigones; o no confinadas), acantilados duros o blandos y Puertos. Las zonas más vulnerables, es decir, las que podrían sufrir más daños como consecuencia del cambio climático, serían, en principio, las playas y costas bajas del entorno de estuarios. Los acantilados blandos también presentan importantes tasas erosivas [140].

Por otra parte, se da una pérdida de sedimentos, que llegan principalmente en grandes inundaciones o tormentas, por la regulación de la mayoría de los ríos. Esto impide que, durante estos eventos climáticos, la erosión y transporte de gran cantidad de sedimento terrígeno llegue a las costas y nutra las playas o deltas.

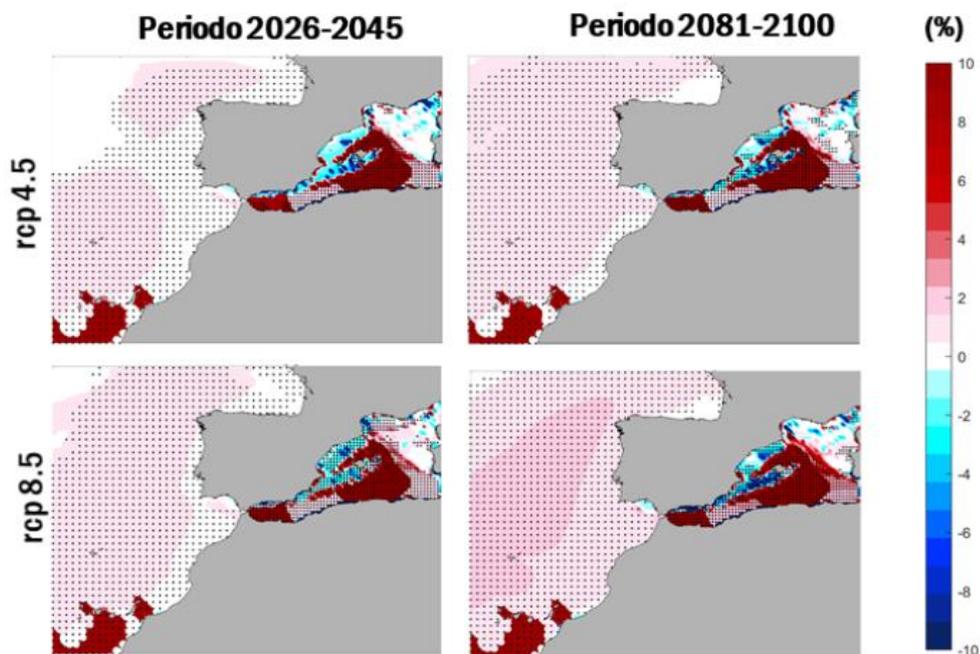


Figura 6: Cambios en la dirección media del oleaje (adaptado de [196])

El problema de la falta de sedimentos y la rigidización por el alto grado de urbanización en el trasdós o construcción de puertos y obras de defensa en algunas zonas hace que no se puedan adaptar a los cambios. El trabajo de Barjadí et al. [140] identifica algunas de las zonas más vulnerables del litoral español en este sentido, diferenciando por tipo de costa:

- En playas y costas bajas, destacan flechas y cordones litorales del Mediterráneo que encierran lagunas litorales y humedales (Albufera de Valencia, Laguna de Santa Pola, la Manga del Mar Menor) así como los deltas (Delta del Ebro) y las playas confinadas de anchura y pendiente reducida (con ejemplos en Guipúzcoa, Vizcaya y Cantabria, o Golfo de Cádiz).
- En los acantilados blandos que sufren presión urbanística ya existe en la actualidad una alta tasa de erosión que podría verse aumentada por el cambio climático. Ejemplos de zonas con estos problemas se dan en Cantabria y el País Vasco (playa de Oyambre) o el Golfo de Cádiz.

Estudios recientes [262] indican que, aproximadamente, un 36 y un 50% de las playas formadas por material arenoso en el mundo podrían verse afectadas severamente por la erosión hacia 2100 para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5, de las cuales se puede destacar aquellas con baja elevación, para las que el porcentaje alcanzaría un 52 o un 63 % con los anteriores escenarios, RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente. El mismo estudio indica que, aunque la erosión está controlada principalmente por la subida del nivel del mar en muchas de las ubicaciones estudiadas, existen zonas donde esta erosión es mayormente debida a intervenciones humanas, las cuales se pueden gestionar adecuadamente para mejorar la situación de forma directa.

2.1.3. Inundación

La subida del nivel del mar, que se describe en el apartado 3, podría llevar a la inundación permanente de zonas bajas, especialmente en ciudades costeras. La cota de inundación en la costa también se ve afectada por los cambios en la altura del oleaje [55].

También es importante considerar los eventos extremos en los impactos del cambio climático, además de la subida del nivel del mar [262]. A este respecto, en cuanto a las mareas meteorológicas extremas, los períodos de retorno de dichas mareas se reducen de forma significativa al sumar el ascenso del nivel del mar por cambio climático, como, por ejemplo, una disminución del período de retorno de la marea meteorológica de 1.5 m desde los 100 años a los 9 años en el Delta del Ebro por una subida de 46 cm del nivel del mar, según Cendrero et al. [55].

Por otra parte, estudios recientes [262], muestran un potencial incremento de los niveles extremos históricos para períodos de retorno de 100 años (incluyendo las componentes de marea astronómica, meteorológica y setup) pasando de un rango entre los 1.5-2.5 m históricos a los 2.5-5 m para el escenario RCP8.5 en 2100 en el litoral Sudatlántico español. En el mismo estudio se destaca que, debido a la subida del nivel del mar, los eventos de período de retorno de 100 años podrían ocurrir con una frecuencia de una vez cada 10 años.

Según el resumen del diagnóstico del proyecto C3E, incluido en la Estrategia de Adaptación [172], la costa Mediterránea sufrirá los mayores aumentos de la cota de inundación, aunque la mayor cota de inundación, en valor absoluto, se da en la costa Atlántica. A su vez, la intensidad y frecuencia de los eventos de inundación serán potenciadas por la subida del nivel del mar.

La vulnerabilidad del litoral a la inundación depende de los distintos tipos de costa, de forma similar a como se ha descrito para la erosión, a lo que se puede añadir las siguientes ideas:

- Las zonas costeras con mayores mareas astronómicas se encuentran, en principio, más resguardadas de estos efectos por la existencia de acantilados.
- En Estuarios, algunos de los estuarios del Norte y Noroeste de la Península tienen zonas de gran valor ecológico que podrían verse inundadas. En los casos en los que no estén confinados por elementos en el trasdós las zonas de humedales podrían desplazarse, pero en caso contrario podrían desaparecer o reducirse notablemente [140].

2.2. Impactos climáticos sobre los recursos hídricos

María Salazar Guerra¹, Miguel Ángel Pérez Martín²

1. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

2. Universitat Politècnica de València

Durante la segunda mitad del siglo XX se ha observado una reducción de los recursos hídricos disponibles en muchas cuencas de la península ibérica. Se ha producido una reducción moderada de la precipitación acumulada anual, con cambios significativos en su distribución anual, y el caudal de los ríos españoles se ha reducido, detectándose una tendencia a la baja de los caudales anuales, más pronunciada en primavera e invierno [175].

Asimismo, en España de forma natural ocurren fenómenos hidrológicos extremos, entre los que destacan las sequías y las inundaciones. Según el Consorcio de Compensación de Seguros, cada año se producen en España una media de 10 episodios graves de inundación, siendo éste el riesgo natural que produce mayores daños en España, tanto materiales como en pérdida de vidas humanas. Según los datos del Consorcio y de la Dirección General de Protección civil, en los últimos 20 años las inundaciones han causado la muerte de 312 personas y daños materiales por valor de unos 800 millones de euros al año.

Atendiendo a las proyecciones, se prevé una reducción de la precipitación anual en buena parte del territorio. El cambio en la estacionalidad de las precipitaciones, el cambio en el régimen nival o la intensidad de las precipitaciones, junto con el aumento del nivel del mar pueden producir alteraciones significativas en el ciclo hidrológico, con impactos negativos en los ecosistemas acuáticos dependientes. A todo ello, se suma el previsible incremento del riesgo de sequías, más frecuentes, largas e intensas, y de inundaciones, con crecidas más frecuentes y caudales máximos más elevados.

Además, los escenarios de cambio climático predicen un aumento paulatino en la temperatura del aire a lo largo del siglo XXI y, asociado a este, se producirá también un aumento en la temperatura del agua superficial afectando a los ecosistemas y al estado de las masas de agua superficiales.

Incluso en los escenarios de emisiones más optimistas, se prevén considerables repercusiones en el ciclo hidrológico, cuya consecuencia será la disminución de la disponibilidad de agua y su calidad, lo que tendrá a su vez un impacto muy notable en los ecosistemas acuáticos y los sectores económicos especialmente vinculados al uso de los recursos hídricos.

2.2.1. Recursos hídricos

En España, el CEDEX ha elaborado varios estudios que evalúan los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. En su última actualización [51], tomando como

referencia los escenarios y modelos del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5, 2014), se han empleado 6 modelos climáticos regionalizados y 2 escenarios de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5). Como resultado se han obtenido 12 proyecciones climáticas para tres ventanas temporales: el corto plazo (2010-2040), el medio plazo (2041-2070) y el largo plazo (2071-2100). Tomando como referencia el periodo de control 1961-2000, los cambios proyectados en España por el conjunto de modelos para las principales variables hidrológicas se representan en la Figura 7.

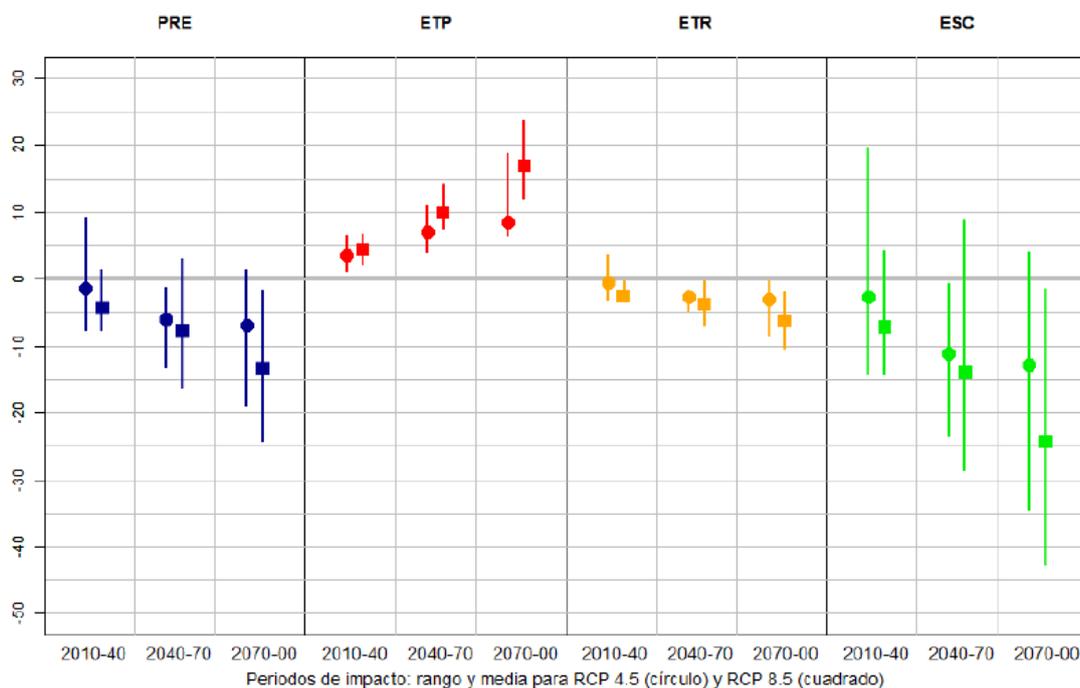


Figura 7: Cambio en porcentaje en las principales variables hidrológicas en los tres periodos respecto al periodo control para el conjunto de España. Rango y media de resultados para RCP 4.5 (círculos) y RCP 8.5 (cuadrados). PRE: precipitación, ETP: Evapotranspiración potencial, ETR: Evapotranspiración real, ESC: Escorrentía total (Fuente: [51])

Las precipitaciones anuales disminuirán en España a lo largo del siglo XXI, debido al cambio en los patrones atmosféricos del atlántico norte (North Atlantic Oscillation, NAO) que producirán cambios en los patrones de precipitación en la península ibérica [122], con una mayor reducción en la zona centro y sur de la península ibérica. Las previsiones de EUROCORDEX ajustadas del visor de escenarios de la plataforma AdapteCCA¹, muestran para final de siglo (2071-2100) una variación media para la precipitación de -5% para la media de los modelos del escenario RCP4.5 y de -17% para la media de los modelos del escenario RCP8.5 (Figura 8). Estos valores podrían alcanzar en las cuencas del centro y del sur cambios entre -5% y -10% para el escenario RCP4.5 y cambios entre -20% y -30% para el escenario RCP8.5, aumentando significativamente el estrés hídrico de estas cuencas.

¹ <http://escenarios.adaptecca.es/>

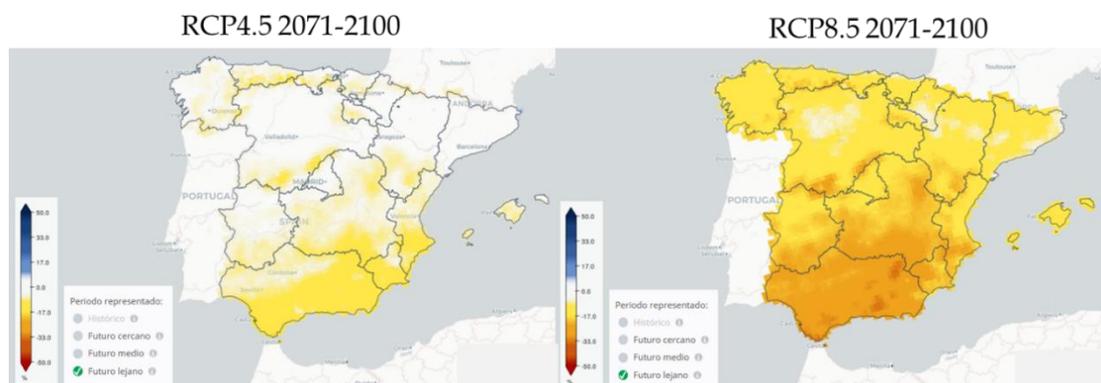


Figura 8: Anomalía de la precipitación anual para España en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 para el largo plazo (2071-2100), media de modelos (Fuente: Visor de escenarios AdapteCCa)

La evapotranspiración potencial anual muestra una tendencia creciente según todas las proyecciones y escenarios [51]. Como consecuencia, debido al descenso de la precipitación y al aumento de la evapotranspiración, es previsible que el suelo pierda humedad, lo que puede derivar en importantes impactos en los ecosistemas y la agricultura.

La combinación del incremento de temperatura junto con la reducción en la precipitación modifica de forma significativa el ciclo hidrológico natural, produciendo una reducción significativa en los recursos hídricos naturales. La escorrentía en España se reducirá a lo largo del siglo XXI con un cambio entre -13% (RCP4.5) y -24% (RCP8.5), llegando en las cuencas del sur y sureste a reducciones de -20% (RCP4.5) y -35% (RCP8.5) (Figura 9).

La reducción de la recarga de acuíferos se estima en proporciones similares. A escala peninsular, se proyecta una reducción de la tasa media de recarga en torno al 12%, con un descenso más pronunciado en algunas áreas del centro y sureste del territorio de hasta un 28% para las próximas décadas [240]. Otro estudio reciente realizado por la Comisión Europea [29] estima que, para un calentamiento global de 2 °C, la recarga de los acuíferos en nuestro país podría reducirse en 3.272 hm³/año, lo que equivaldría al 15 % de la cantidad extraída anualmente para regadíos.

Las proyecciones estiman también cambios en el régimen nival, con una reducción de la precipitación acumulada en forma de nieve, pero con incrementos en los valores de precipitación máxima. Esto puede afectar de forma negativa en la recarga de acuíferos, así como provocar adelantos de la fusión nival con fuertes incrementos, que pueden aumentar la frecuencia e intensidad de inundaciones por deshielo, con especial incidencia en cuencas no reguladas.

ESCORRENTÍA		RCP 4.5			RCP 8.5		
Cambio Anual (%)		Mx	Med	Mn	Mx	Med	Mn
España	2010-2040	20	-3	-13	4	-7	-14
	2040-2070	-1	-11	-23	9	-14	-29
	2070-2100	4	-13	-31	-1	-24	-43
Miño-Sil	2010-2040	11	-3	-10	2	-6	-14
	2040-2070	-3	-11	-16	4	-11	-18
	2070-2100	4	-10	-21	-2	-19	-29
Galicia Costa	2010-2040	10	-3	-10	1	-6	-14
	2040-2070	-4	-11	-16	2	-11	-17
	2070-2100	2	-10	-19	-4	-19	-29
Cantábrico Oriental	2010-2040	5	-3	-10	-1	-7	-12
	2040-2070	-7	-12	-18	-6	-13	-21
	2070-2100	-5	-10	-17	-15	-26	-38
Cantábrico Occidental	2010-2040	8	-2	-8	-2	-6	-9
	2040-2070	-3	-10	-14	-3	-12	-21
	2070-2100	-4	-10	-18	-9	-23	-34
Duero	2010-2040	25	-3	-15	6	-9	-19
	2040-2070	1	-13	-27	15	-15	-31
	2070-2100	9	-14	-36	3	-25	-46
Tajo	2010-2040	31	-3	-22	12	-8	-20
	2040-2070	3	-11	-29	19	-15	-34
	2070-2100	12	-14	-40	7	-25	-51
Guadiana	2010-2040	46	-3	-35	18	-9	-30
	2040-2070	9	-12	-36	33	-18	-45
	2070-2100	22	-17	-50	15	-30	-63
Guadalquivir	2010-2040	52	-2	-38	18	-10	-30
	2040-2070	15	-10	-37	35	-18	-51
	2070-2100	18	-19	-51	13	-32	-67

ESCORRENTÍA		RCP 4.5			RCP 8.5		
Cambio Anual (%)		Mx	Med	Mn	Mx	Med	Mn
Cuenca Mediterránea	2010-2040	43	-3	-33	12	-11	-25
	2040-2070	11	-8	-36	20	-20	-47
	2070-2100	6	-20	-49	4	-31	-65
Guadalete y Barbate	2010-2040	48	-4	-38	15	-11	-31
	2040-2070	14	-10	-37	31	-20	-51
	2070-2100	12	-20	-52	7	-33	-67
Tinto, Odiel y Piedras	2010-2040	54	-2	-36	14	-11	-36
	2040-2070	15	-10	-37	34	-20	-51
	2070-2100	25	-18	-50	21	-29	-65
Segura	2010-2040	15	-7	-22	12	-9	-23
	2040-2070	-1	-11	-32	-3	-23	-48
	2070-2100	-6	-20	-43	-17	-38	-63
Júcar	2010-2040	21	-4	-26	15	-11	-25
	2040-2070	-4	-12	-34	-7	-24	-49
	2070-2100	-7	-21	-46	-20	-36	-62
Ebro	2010-2040	15	-2	-12	-2	-7	-10
	2040-2070	-5	-11	-19	4	-13	-25
	2070-2100	-3	-12	-25	-10	-26	-40
Cuenca Interna de Cataluña	2010-2040	24	6	-9	6	-4	-17
	2040-2070	6	-4	-13	4	-8	-22
	2070-2100	8	-8	-20	-3	-19	-31
Islas Baleares	2010-2040	8	-7	-26	-3	-16	-40
	2040-2070	6	-13	-39	-19	-31	-56
	2070-2100	-4	-24	-52	-28	-42	-69
Canarias	2010-2040	25	-6	-27	7	-14	-32
	2040-2070	22	-10	-26	14	-25	-46
	2070-2100	-11	-26	-44	3	-34	-60

Figura 9: Cambio de escorrentía en cada ámbito hidrográfico. Se indican los valores máximos (Mx), mínimo (Mn) y el promedio (Med) para cada RCP. Los colores reflejan la gradación del cambio (Fuente: [51])

2.2.2. Sequías e inundaciones

Las proyecciones climáticas muestran un futuro en el que las sequías serán más largas y frecuentes, acusándose este efecto a medida que avanza el siglo XXI. Las sequías de 2 años de duración serán más frecuentes (tendrán un menor periodo de retorno, para un mismo déficit), situación que se repite con las sequías de 5 años de duración [51].

Un informe reciente, bajo el proyecto PESETA [45] a nivel europeo, señala que, para un calentamiento global de 3°C en 2100, las pérdidas por sequía podrían ser 5 veces mayores que en la actualidad, con el mayor aumento de pérdidas por sequía proyectado en las regiones mediterráneas.

Por otro lado, de acuerdo con las proyecciones, la reducción de las precipitaciones medias anuales no conllevará necesariamente una disminución de los extremos. De hecho, se prevé un aumento de las precipitaciones máximas que se acentuará a final de siglo. Las regiones más vulnerables en España se encuentran a lo largo de la costa mediterránea, debido sobre todo a las inundaciones relámpago o flash floods, como consecuencia de DANAs (Depresión Aislada en Niveles Altos – coloquialmente conocidas como gota fría) [195]. Estas precipitaciones torrenciales, debido a su escasa duración, no favorecen la recarga de los acuíferos, lo que reduce su efecto regulador del ciclo hidrológico.

Los episodios torrenciales podrán venir acompañados de desequilibrios geomorfológicos en las cuencas, pudiendo dar lugar a una colmatación más acelerada de embalses, con la consiguiente reducción de su capacidad, que se verá acentuada por la necesidad de resguardo para laminación de avenidas. El incremento de temperaturas también aumentará las pérdidas por evaporación en embalses, que podrían duplicarse en las próximas décadas. Por otra parte, las infraestructuras hidráulicas han sido diseñadas con unos márgenes de seguridad que, en algunos casos, podrían verse superados por efecto del cambio climático.

2.2.3. Impactos sobre la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos

Los cambios proyectados en la precipitación, en la temperatura del agua y en el ciclo hidrológico producirán a su vez importantes impactos en el estado de las masas de agua, afectando especialmente a los procesos ecológicos, las especies y hábitats ligados a los ecosistemas acuáticos.

El ascenso de temperaturas y la reducción de caudales favorecerán procesos de eutrofización y el aumento de la concentración de los contaminantes. Además, el aumento de la erosión, producido por una combinación de uso intensivo de la tierra y condiciones climáticas adversas, puede dar lugar al aumento de la turbidez del agua, afectando a los nichos ecológicos, así como a la sedimentación en los fondos de los ríos, reduciendo las zonas de freza.

La reducción del oxígeno disuelto en las aguas producido por el aumento de temperatura, junto con la disminución de los flujos de agua, pueden reducir los nichos actuales de muchas especies de agua dulce [50]. Según un reciente informe [177], en la biota de los arroyos se han observado, como consecuencia del cambio climático, cambios en la distribución de organismos hacia latitudes o elevaciones mayores, así como en la composición de las comunidades de organismos, que a menudo resultan en homogeneización y pérdida de diversidad.

Además, el incremento del nivel del mar puede intensificar los procesos de intrusión marina, ya agravados por la sobreexplotación en algunas zonas costeras.

Un proyecto reciente sobre la evaluación del riesgo asociado al cambio climático y medidas de adaptación en la Demarcación hidrográfica del Júcar [99] ha identificado los principales impactos en la calidad del agua, así como en los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados (Tabla 2).

Según este estudio, los impactos previstos del cambio climático en las especies piscícolas de aguas frías y en los macroinvertebrados son significativos y se van intensificando conforme avanza el siglo XXI. Se pasa de una reducción del 20% de tramo de río con temperaturas óptimas para la supervivencia de la Trucha común en los próximos años a una pérdida de casi un 90% a largo plazo. Para el caso de los macroinvertebrados, el cambio climático produce un

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

cambio en el número de individuos del 35% de las familias en corto plazo y de prácticamente la totalidad de las familias de macroinvertebrados a final del siglo XXI.

Tabla 2: Impactos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados y elementos de calidad o condiciones del agua a los que afecta. ECB = Elementos de calidad biológicos, Q/FQ = Condiciones químicas y fisicoquímicas, HMF = Condiciones hidromorfológicas, QUI = Condiciones Químicas, CUA = Condiciones cuantitativas

Masas de agua superficial	SW1	Reducción hábitat: especies de peces de aguas frías	ECB
	SW2	Descenso O2 afección fauna piscícola	ECB y Q/FQ
	SW3	Afección a fauna piscícola del cambio de régimen hidrológico	ECB y HMF
	SW4	Conversión ecosistemas que pasan de permanente a estacional	HMF
	SW5	Reducción del indicador de macroinvertebrados	ECB
	SW6	Afección en diatomeas y macrófitos	ECB
	SW7	Reducción hábitats aptos vegetación de ribera	HMF
	SW8	Especies autóctonas e invasoras	ECB
	SW9	Incremento de la concentración de contaminantes (P, NO ₃)	Q/FQ
	SW10	Afección al pH	Q/FQ
	SW11	Eutrofización de lagos y humedales	ECB
	SW12	Elevación nivel del mar en humedades y cuña salina ríos	Q/FQ
	SW13	Afección a la vegetación de la Demarcación	HMF
	SW14	Aumento de la frecuencia e intensidad de los incendios	HMF
		SW15	Cambio del estado de las masas de agua superficiales (DMA)
Masas de agua subterránea	GW1	Incremento de la concentración de contaminantes (NO ₃)	QUI
	GW2	Cuña salina aguas subterráneas	QUI
	GW3	Balance aguas subterráneas	CUA
		GW4	Cambio del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)

Fuente: [99]

2.2.4. Impactos sobre los usos socioeconómicos del agua

Los cambios en el ciclo natural del agua inciden en la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles, con impactos en actividades socioeconómicas como el abastecimiento urbano, la agricultura, la producción de energía hidroeléctrica, los usos recreativos o la acuicultura [99] (Tabla 3). Además, si se considera el ciclo hídrico en su conjunto, también pueden verse afectados otros sectores como el sector forestal, el turístico, las ciudades o la salud humana.

Tabla 3: Impactos del cambio climático en las principales actividades socioeconómicas identificados para la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Abastecimiento urbano	AU1	Aumento demanda agua
	AU2	Pérdida garantía urbana
	AU3	Descenso en la calidad del agua bruta
	AU4	Aumento de vertidos por aliviaderos en episodios de lluvias (EDAR)
	AU5	Colapso de colectores
	AU6	Desbordamiento de cauces
Regadíos y usos agrarios	AG1	Aumento estrés hídrico seco
	AG2	Aumento demanda regadío
	AG3	Pérdida garantía regadío
	AG4	Cambio hábitat cultivos
	AG5	Aumento malas hierbas
	AG6	Eventos extremos
Producción de energía hidroeléctrica	EH1	Reducción caudal disponible natural
Usos recreativos	RE1	Aumento de la concentración de contaminantes
Acuicultura	AC1	Cambios en temperatura, oxígeno disuelto y caudal (afección hábitat)

Fuente: [99]

En el sector urbano se identifican impactos relacionados con cambios en la disponibilidad del agua, como la pérdida de garantía hídrica por el descenso en los recursos disponibles, o el empeoramiento de la calidad del agua debido al aumento en la concentración de contaminantes. También se consideran los impactos asociados al aumento de la precipitación máxima diaria.

En el sector agrícola los principales impactos identificados corresponden al aumento en el estrés hídrico de los cultivos, con el incremento de las necesidades de riego, la pérdida de garantía en el suministro de agua a las zonas de riego, el aumento de la vulnerabilidad de las áreas de cultivo de secano y la pérdida de las condiciones de habitabilidad para algunos cultivos.

También se han identificado impactos en el sector energético, con la pérdida en la producción de energía hidroeléctrica por la reducción de caudales, así como posibles afecciones en los procesos de refrigeración de centrales termoeléctricas por el aumento de la temperatura del agua. Los usos recreativos y la acuicultura pueden verse afectados igualmente por el aumento en la concentración de contaminantes, y la reducción de caudales y de oxígeno, entre otros factores.

Como puede concluirse, los impactos y riesgos asociados a los recursos hídricos por efecto del cambio climático van más allá de la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente, debiendo abordar la gestión del recurso desde una visión holística e integradora. La anticipación ante los impactos derivados del cambio climático requiere del seguimiento de la evolución de los efectos observables, así como de la evaluación del riesgo sobre un amplio abanico de aspectos que intervienen en el ciclo hidrológico: regímenes de caudales, recursos disponibles, fenómenos extremos, calidad del agua, ecosistemas asociados y actividades socioeconómicas relacionadas con el agua. Solo así, podrán diseñarse estrategias de adaptación con medidas planificadas y contingentes, que contribuyan a la reducción del riesgo.

2.3. Mejora del conocimiento sobre riesgos de inundación para su mejor identificación temporal y espacial

Juan Francisco Arrazola Herreros

Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

En este apartado se hace un repaso de las principales líneas de trabajo dirigidas a mejorar el conocimiento sobre los riesgos de inundación, impulsadas desde la Dirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y en colaboración con otras administraciones y organismos.

En primer lugar, se describirán los avances realizados durante el primer ciclo de aplicación de la Directiva de Inundaciones en los siguientes temas:

- Impacto del cambio climático en las inundaciones.
- Metodología para la elaboración de cartografía de inundaciones pluviales.
- Ampliación de las capacidades del programa Iber.
- Mejora de la información de riesgo disponible en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)

En una segunda parte, se comentarán los retos pendientes y algunos de los trabajos que se impulsarán para darles respuesta.

2.3.1. Impacto del cambio climático en las inundaciones

La Directiva 2007/60/CE de Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación, traspuesta a la normativa española por el Real Decreto 903/2010, establece en su artículo 14.4 que las posibles repercusiones del cambio climático en la incidencia de las inundaciones se tomarán en consideración en las revisiones de la evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI) y de los planes de gestión del riesgo de inundación (PGRI).

El Tribunal de Cuentas Europeo, en su informe especial sobre el estado de la aplicación de la directiva de inundaciones [291], señala, entre otros aspectos, que “faltan conocimientos actualizados sobre el probable impacto del cambio climático en la incidencia de las inundaciones”.

Para abordar este reto, se realizó en primer lugar una revisión de los estudios y experiencias realizados a nivel europeo durante el primer ciclo de planificación [188], a partir de la cual se

elaboró una metodología para incorporar los efectos del cambio climático en la EPRI del segundo ciclo [187]

Siguiendo la línea marcada por esa metodología, se han continuado los trabajos de cara a ampliar el conocimiento sobre los efectos del cambio climático para la elaboración de los PGRI de segundo ciclo.

Así, el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX ha elaborado el informe “Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España” [52], cuyo objetivo es la evaluación del impacto del cambio climático sobre las precipitaciones máximas anuales, en distintos intervalos temporales, a partir de simulaciones procedentes de modelos climáticos regionales de EURO-CORDEX.

En este estudio se ha realizado directamente el análisis de las proyecciones climáticas regionalizadas de los 15 modelos EURO-CORDEX disponibles, lo que ha permitido ampliar y profundizar en el estudio del impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas respecto a lo realizado en 2018 para la EPRI. Se ha ampliado el número de variables analizadas, incluyendo las precipitaciones máximas en intervalos inferiores al día, se han estudiado tres periodos de impacto con objeto de valorar la evolución a lo largo de todo el siglo XXI y se han analizado tres periodos de retorno (10, 100 y 500 años) lo que permite valorar el impacto en el conjunto de la ley de frecuencia. Asimismo, se han incluido en el estudio distintos aspectos como el contraste de las simulaciones climáticas con los datos observados en el periodo de control y el análisis de los cambios en los principales estadísticos de las series de precipitaciones máximas anuales, así como la estimación de los cuantiles mediante el ajuste regional de la distribución SQRT-ETmax, de forma que la metodología empleada para la estimación de tasas de cambio en cuantil se conecta con la utilizada en el estudio vigente sobre precipitaciones máximas a escala nacional [80] realizado por el CEDEX para la Dirección General de Carreteras (DGC). De este modo, se han valorado los cambios tanto a nivel de celda como mediante el uso de regiones climáticas. No obstante, la estimación de cuantiles también se ha realizado mediante el ajuste de la distribución GEV de manera local, modelo estadístico empleado en el trabajo realizado por la UPM del que se partió para la EPRI en 2018, posibilitando la comparación de resultados con los obtenidos en dicho estudio, y permitiendo extraer conclusiones sobre la influencia del modelo estadístico en los resultados sobre las tasas de cambio en cuantil.

El trabajo consta de las cuatro fases principales siguientes:

1. Análisis del comportamiento de las series de precipitación diaria máxima anual procedentes de modelos climáticos regionales respecto a las series observadas.
2. Análisis de tendencias y cambios en la mediana y en la varianza de las series de precipitación máxima anual diaria y horaria procedentes de modelos climáticos regionales.
3. Estimación de las tasas de cambio en cuantil medias, y asociadas a los percentiles 10 y 90, de las series de precipitación máxima anual diaria y horaria procedentes de

modelos climáticos regionales, así como evaluación de la significancia estadística de las tasas de cambio medias mediante un procedimiento basado en simulaciones de Monte Carlo.

4. Análisis de los cambios en los cuantiles de precipitación diaria máxima anual acumulada en la red fluvial.

A modo de ejemplo, se muestran algunos de los resultados obtenidos para algunos de los aspectos estudiados.

Para el caso de la precipitación máxima anual diaria, en general, el número de celdas y regiones con tendencias o cambios significativos para la mayoría de modelos climáticos es reducido debido a la variedad de resultados obtenidos por los diferentes modelos climáticos. Esto no significa que los distintos modelos climáticos considerados en el estudio no pronostiquen cambios significativos en los estadísticos analizados, sino que existen diferencias entre los distintos modelos respecto a la ubicación geográfica de estos cambios, de tal forma que únicamente en un número reducido de celdas y regiones hay coincidencia en el pronóstico de la mayoría de modelos.

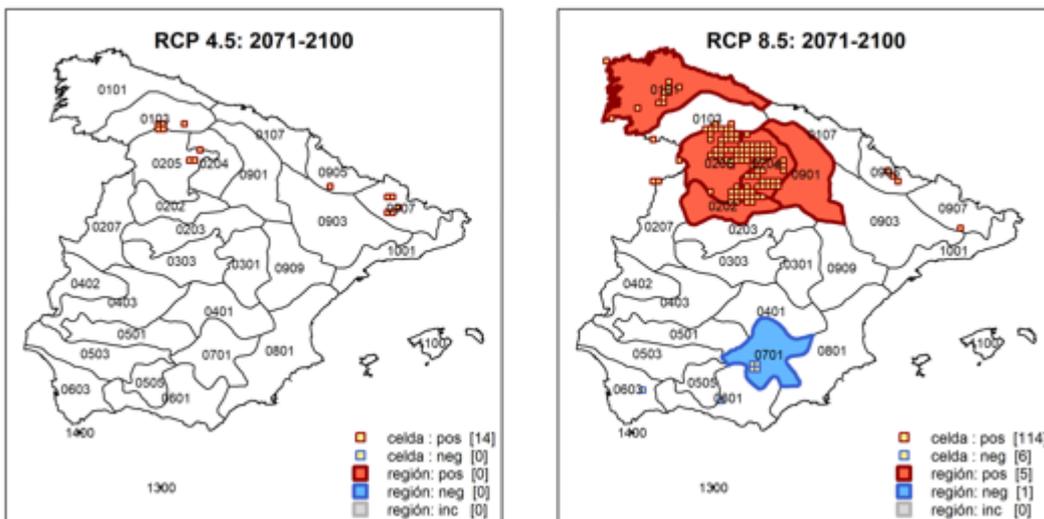


Figura 10: Celdas y regiones con cambios en la mediana significativos identificados en la mayoría de modelos climáticos de estudio para precipitación diaria máxima anual para el periodo de impacto "2071-2100". ("pos" = positivo, "neg"= negativo; "inc" = inconsistente). [52]

Para el caso de la precipitación horaria máxima anual, el análisis de la tendencia y cambios en mediana y varianza indica resultados consistentes con los correspondientes a la precipitación diaria máxima anual, siendo similar el patrón espacial de cambios, pero con una intensificación muy notable del incremento de la mediana y la varianza en ambos escenarios, y principalmente para el RCP 8.5 y el último periodo de impacto. Estos resultados apuntan a un mayor incremento de las precipitaciones para intervalos temporales más pequeños y, por lo tanto, a un incremento de la torrencialidad.

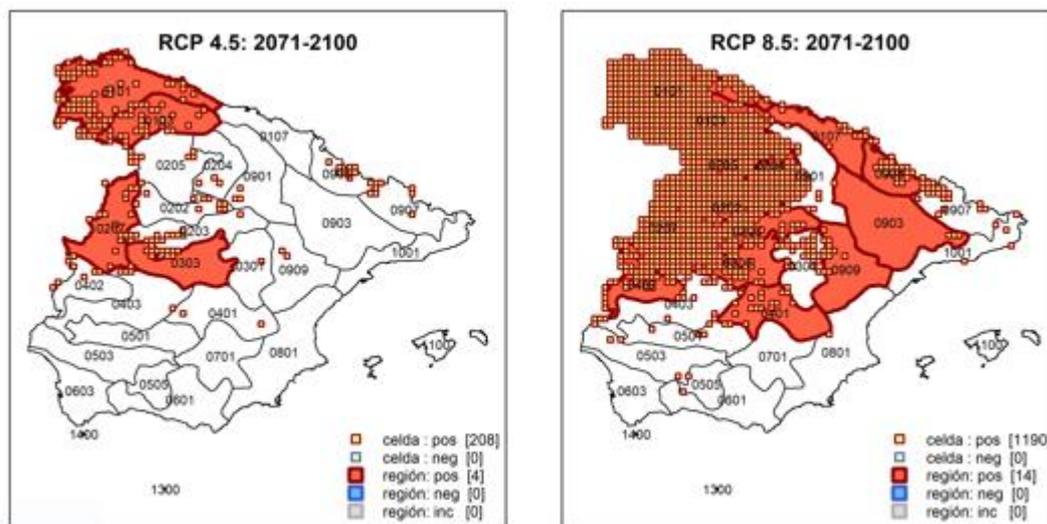


Figura 11: Celdas y regiones con cambios en la mediana significativos identificados en la mayoría de modelos climáticos de estudio para precipitación horaria máxima anual para el periodo de impacto "2071-2100". ("pos" = positivo, "neg"= negativo; "inc" = inconsistente). [52]

2.3.2. Metodología para la elaboración de cartografía de inundaciones pluviales

Las inundaciones pluviales son aquellas que se producen derivadas de altas intensidades de precipitación, que pueden provocar daños "in situ" y que pueden evolucionar y derivar a su vez en inundaciones significativas cuando la escorrentía se concentra en corrientes de pequeña magnitud y producir desbordamientos. Al igual que sucede con el cambio climático, el estudio adecuado de las inundaciones pluviales es una necesidad que había quedado rezagada en la mejora de la gestión del riesgo.

Para darle respuesta, en la EPRI de segundo ciclo se incluyó la identificación de las zonas con predisposición a tener inundaciones de este tipo en cada una de las demarcaciones hidrográficas. Para esa identificación se partió del análisis de factores históricos, topográficos e hidrometeorológicos, conjugándolos con los usos de suelo con más riesgo. Es decir, habría zonas que por sus características topográficas (zonas con falta de drenaje superficial), meteorológicas e hidrológicas pueden potencialmente sufrir episodios de inundaciones pluviales. Por otra parte, se deben considerar las inundaciones ocurridas en el pasado con influencia pluvial y que pueden volver a producirse en el futuro en las mismas zonas. Todo ello, teniendo en cuenta que los usos de suelo de estas zonas sean usos de riesgo (que en este estudio son los usos urbanos). Estos factores son independientes del estado y capacidad de las redes de saneamiento, que pueden provocar inundaciones pluviales, pero que quedaban fuera del ámbito de estudio.

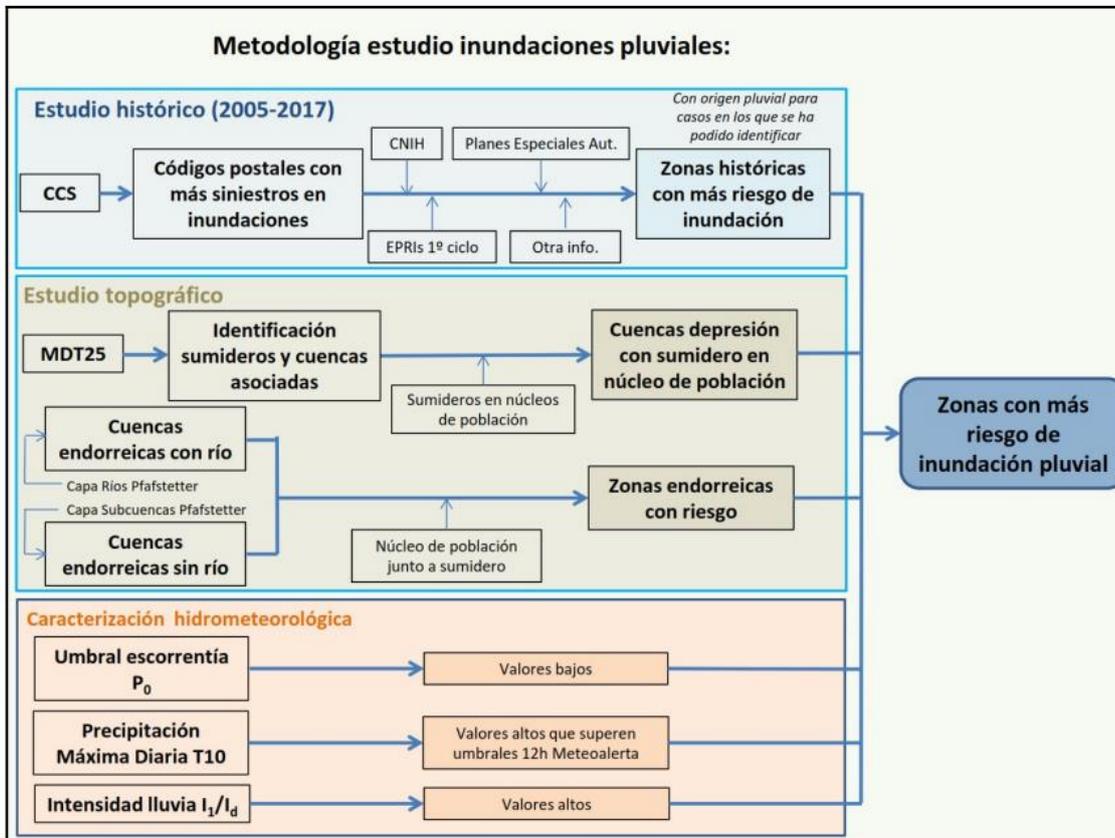


Figura 12: Esquema de la metodología del estudio de inundaciones pluviales incluida en la EPRI de segundo ciclo. Incluye información analizada y factores tenidos en cuenta para identificar las zonas con mayor riesgo de inundación pluvial. [188]

Durante el año 2020, se han continuado los trabajos dirigidos a mejorar el conocimiento sobre este tipo de inundaciones y poder desarrollar una metodología para elaborar cartografía de zonas inundables en estos casos.

Para desarrollar esta metodología, se realizó un estudio con 3 objetivos:

- Testear/aplicar distintas metodologías de modelización hidrológica
- Testear/aplicar distintos softwares de modelización hidráulica
- Englobar áreas de estudio de toda la geografía española

En cada caso se señalaron las principales dificultades encontradas: tratamiento del MDT en zona urbana (aceras, alcantarillas, etc.), acceso a datos sobre los sistemas de drenaje urbano, integración inundación pluvial-fluvial, postproceso y presentación de resultados, tiempos de cálculo, falta de datos para la calibración.

Con las principales conclusiones de estos casos piloto, se publicará próximamente una primera guía con recomendaciones para la realización de los estudios de inundabilidad donde sea importante considerar el fenómeno pluvial.

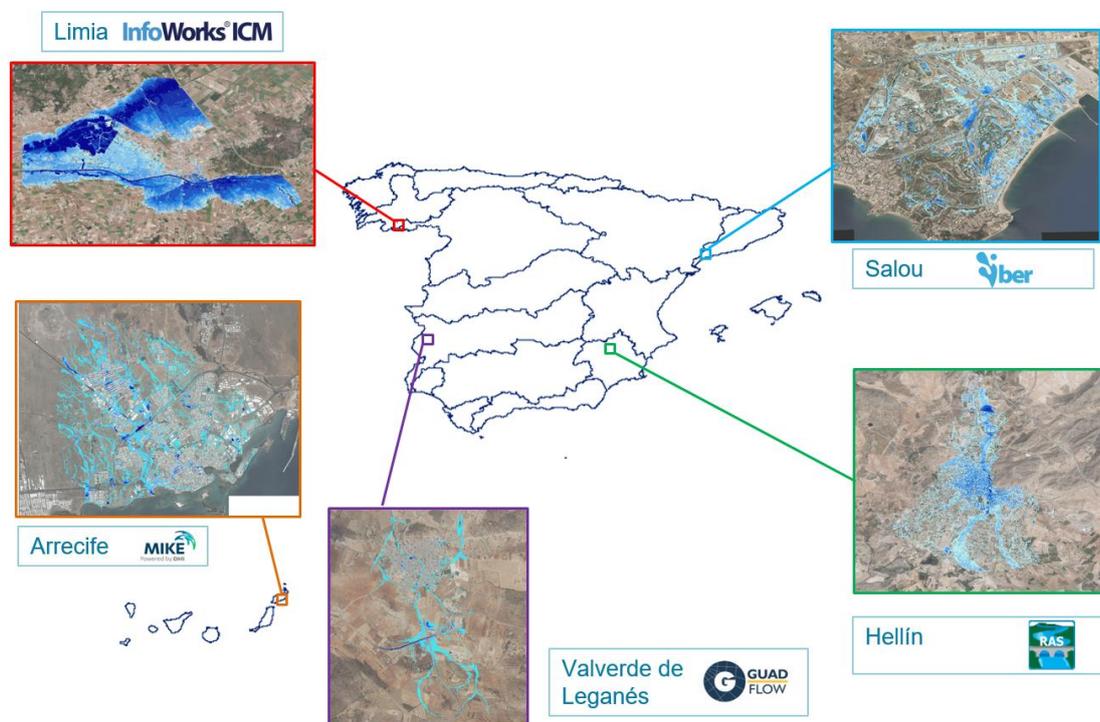


Figura 13: Zonas de estudio y software hidráulico utilizado.

2.3.3. Ampliación de las capacidades del programa Iber

El programa Iber es uno de los líderes mundiales en software libre para cálculos hidráulicos e hidrológicos. Para apoyar el proceso de mejora continua que le permita mantenerse al más alto nivel, desde el MITECO se ha financiado el desarrollo de una nueva versión del programa.

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no-permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El modelo fue desarrollado en primera instancia en coordinación por los grupos universitarios Flumen, ahora Instituto Flumen, de la Universitat Politècnica de Catalunya y el grupo GEAMA (Grupo de Enxeñería da Agua e do Medio Ambiente) de la Universidade da Coruña, CIMNE, y el Laboratorio de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

El modelo Iber se presentó inicialmente (versión Iber 1.0) en junio de 2010. En aquel entonces Iber contaba con tres módulos de cálculo principales: hidrodinámico, turbulencia y de transporte de sedimentos. A partir de entonces, ha ido evolucionando incorporando nuevos módulos adicionales (rotura de presas, calidad de las aguas, etc.) y mejorando las capacidades de los módulos existentes, la interfaz y el tiempo de cálculo.

Como resultado de los trabajos que se recogen en este apartado, se ha desarrollado una nueva versión de Iber (versión 3.0). Los avances principales siguen 4 líneas principales:

- **Módulo de integración de la simulación del flujo en redes de drenaje en el subsuelo con el flujo superficial.** Este módulo se ha construido con la finalidad de complementar el modelo Iber ya existente de cálculo bidimensional en superficie, para poder incorporar todos los procesos asociados al drenaje de agua en zona urbana a través de la red de alcantarillado.
- **Módulo simulación hidrológica.** Este módulo ha sido extendido con nuevas capacidades que favorecen por un lado la simulación integrada de la hidrología y la hidráulica, y por otro permiten aplicar el modelo no solo para la transformación lluvia-escorrentía, sino también para la estimación de caudales bases, evaluación y gestión de recursos, etc.
- **Módulo erosión de suelos.** El nuevo módulo de erosión de suelos en Iber permite determinar las zonas en las que se ha producido erosión de suelo en una cuenca y cuantificar la misma, así como evaluar la evolución temporal y espacial de las concentraciones de sólidos en suspensión a lo largo de los cauces en la red fluvial.
- **Módulo para el transporte de sedimentos.** Complementando los módulos previos de transporte de sedimentos por arrastre de fondo y por suspensión (de material uniforme), en la nueva versión de Iber desarrollada se ha implementado y validado un nuevo módulo que permite trabajar con mezclas de sedimentos o granulometrías extendidas.
- **Mejora de la operatividad.** Se ha desarrollado una nueva versión del código del modelo utilizando para ello técnicas de supercomputación, reescribiendo el código en FORTAN CUDA, a fin de permitir la computación en tarjetas gráficas GPU (Unidades de Procesamiento Gráfico). Esto permite reducir enormemente los tiempos de cálculo y posibilita abordar simulaciones con mayor número de elementos y de episodios más extensos con tiempos de cómputo reducido, lo que redundará en una mejora en la calidad de los resultados y en una reducción de costes.

2.3.4. Mejora de la información de riesgo disponible en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)

El SNCZI es una herramienta en continua evolución con el objetivo de mejorar constantemente su operatividad y la representatividad y relevancia de su información.

Así, durante el año 2020 tuvieron lugar, entre otros, dos cambios destacados al respecto en los mapas de riesgo:

- Implementación de una nueva metodología de cálculo de la población residente en zona inundable. Ahora esa cifra se calcula usando los datos disponibles por distrito censal, en lugar de usar el dato municipal agregado, lo que permite obtener una cifra mucho más precisa para valorar el riesgo.

- Nueva categorización de los puntos de especial importancia. Los tipos de puntos de especial importancia en caso de una inundación se han revisado y recategorizado, siguiendo para ello el criterio de las autoridades de Protección Civil. En paralelo, se han revisado las fuentes de información de las que se obtienen dichos puntos para ampliar su cobertura y garantizar la homogeneidad entre territorios.

2.3.5. Retos pendientes y nuevos trabajos

Sin duda, el mayor reto en un futuro inmediato sigue siendo la generación de datos de precipitaciones máximas que se puedan usar directamente para la modelización de inundaciones en los distintos escenarios de cambio climático. Aunque se ha avanzado mucho en este sentido con trabajos como los reseñados anteriormente, es necesario continuar dedicando un esfuerzo importante a esta tarea.

En relación directa con lo anterior, es interesante estudiar la sensibilidad a los cambios en la extensión de las zonas inundables en los tramos en los que los resultados apuntan a un mayor impacto del cambio climático, de manera que se pueda valorar la posibilidad de hacer un análisis del riesgo en ese escenario futuro con la información ya disponible.

De gran utilidad para esto último es el estudio de cambios climáticos en otras épocas geológicas y, en concreto, su impacto en las inundaciones extremas a través del análisis de evidencias sedimentarias y botánicas, para lo cual ya está previsto impulsar esos trabajos en colaboración con el CSIC y el IGME.

Por otro lado, es importante seguir profundizando en el uso de la abundante información que proporcionan los sistemas de teledetección para mejorar la predicción de avenidas. Especialmente relevante es aprovechar el potencial que proporciona el programa Copernicus, para lo cual será importante apoyar programas de investigación que permitan:

- Mejorar la predicción en tiempo cercano de eventos a través del uso de los datos satelitales para realizar un seguimiento en continuo del estado de humedad del suelo. Estas técnicas, que muestran también resultados prometedores en la mejora del conocimiento de la distribución espacial de precipitaciones, podrán también ayudar a evaluar los efectos del cambio climático.
- Mejorar la estimación de zonas inundadas tras un evento. Estudio de las posibilidades de uso en eventos de corta duración donde la actual información suministrada por defecto no permite valorar adecuadamente este tipo de inundaciones.

Hoy en día es clave también valorar las posibilidades que ofrece la inteligencia artificial en la predicción de avenidas, pues es un campo que puede tener un gran impacto en la prevención del riesgo de inundación, tanto a través de su aplicación dentro los métodos tradicionales, como mediante nuevas metodologías que se muestren igualmente eficaces. Los planes de recuperación y resiliencia europeos incluyen el impulso a la inteligencia artificial como uno de sus pilares y es crucial aprovechar esa oportunidad.

La Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial también contempla específicamente el impulso a la ciencia ciudadana como una herramienta que puede generar un retorno colectivo positivo importante, y, en el caso de las inundaciones, puede ser de gran utilidad en el suministro de datos que complementen el registro tradicional de eventos pasados, como por ejemplo ya hace la AEMET a través del proyecto SINOBAS.

2.4. Respuesta erosiva y sedimentaria al cambio climático y global en cuencas mediterráneas de montaña

Agustín Millares-Valenzuela, Marina Cantalejo-Ibáñez, Jorge Pedro Galve-Arnedo

Universidad de Granada

2.4.1. Introducción

Los análisis a partir de proyecciones climáticas apuntan hacia una variación de la frecuencia y severidad de eventos intensos que pueden causar cambios importantes en los procesos de erosión, transporte y sedimentación. El incremento de la torrencialidad y la mayor frecuencia de episodios extremos (sequías, incendios forestales, ...), pueden impulsar los procesos de desertificación con cambios importantes en los usos del suelo condicionando, a su vez, multitud de impactos a lo largo de la red fluvial (pérdida de recurso edáfico, sedimentación de embalses, estado ecológico de los ríos, calidad del agua, etc.). A pesar de esto, las metodologías de estudio y análisis de impactos abordan estos riesgos desde escalas espaciales locales (p.e. la parcela, el rodal, el encauzamiento, el tramo fluvial) y no desde perspectivas holísticas que integren el análisis conjunto de los agentes meteorológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como la conectividad del transporte entre diferentes sistemas. Este enfoque integral es esencial para responder a preguntas relacionadas con la gestión de nuestros ríos: ¿dónde?, ¿cuánto?, ¿cómo y a qué responde?, ¿cuánto tiempo queda?, ¿con qué incertidumbre?

Desde esta perspectiva, las cuencas de montaña son observatorios clave en el análisis de los procesos erosivos y sedimentarios debido a la gran sensibilidad y variabilidad espacio-temporal de los agentes hidrometeorológicos. La monitorización a largo plazo en estas cuencas permite cuantificar los impactos asociados a cambios en los patrones climáticos y definir las estrategias de adaptación y mitigación más apropiadas.

Las nuevas herramientas y conocimientos científicos y tecnológicos desarrollados durante las últimas décadas han de afrontar el desafío que el cambio climático y global supone en los procesos de erosión y sedimentación en entornos mediterráneos.

2.4.2. Cuencas de montaña mediterránea como observatorios del cambio global

En entornos mediterráneos, las cuencas de montaña se han caracterizado históricamente por plantear retos importantes en la gestión de los procesos erosivos y sedimentarios. La naturaleza torrencial de la precipitación, la dinámica nival y los gradientes topográficos locales condicionan un sistema hidrológico complejo con procesos intensos de erosión, transporte y sedimentación [157], [155], [171].

Tabla 4: Variabilidad de producción de sedimento y procesos de transporte en ríos mediterráneos de montaña.

Zona de estudio	Cuenca	Área (km ²)	Producción de sedimento (t/ha/año)		Proceso de transporte
			Carga de fondo	Carga suspendida	
Atlas (Marruecos)	Aoulouz	4,446		4.85/15.9	ES/EC
Atlas (Marruecos)	Timicha	3.82	10.53		SS+CF
Atlas (Marruecos)	Azib douirani	14.33	14.72		SS+CF
Atlas (Marruecos)	Adghigh	31.98	7.69		SS+CF
Atlas (Marruecos)	Iminlhad	16.07	13.9		SS+CF
Apeninos (Italia)	Camastra	259.9	2.36	13.79	EL/ES
Alpes (Italia)	Castello	68	4.76		SS+CF
Alpes (Italia)	Placemoulin	68	2.96		SS+CF
Alpes (Italia)	Torre-Crosis	86	1.54	2.10	SS+CF
Alpes (Italia)	Vodo	333	1.54		SS+CF
Pirineos (España)	Ribera Salada	224	0.2		SS/CF
Pirineos (España)	Talarn	2,062	5.34		SS+CF
Pirineos (España)	Barasona	1,511	33.67		SS+CF
Pirineos (España)	Mediano	1,568	1.84		SS+CF
Sierra Nevada (España)	Rules	650	19-24		SS+CF

Fuente: Adaptado de [178] [ES: Erosión en surco; EL: Erosión laminar; EC: Erosión en cárcavas; SS: Sedimento suspendido; CF: Carga de fondo].

En áreas de ladera, la pérdida de suelo puede manifestarse a partir de una gran variedad de procesos erosivos (p.e.: acaravamiento, deslizamientos a pequeña escala, erosión en surco,

...) con tasas de producción específica de sedimento muy relevantes [236], [59], [281]. Aquí, la dinámica de la nieve juega un papel importante. A diferencia de la lluvia, la precipitación en forma de nieve no provoca erosión por el impacto de sus gotas o por escorrentía directa. Sin embargo, los ciclos de deshielo posteriores tienen un efecto notable sobre el perfil edáfico, que puede condicionar un aumento de la tasa erosiva durante ese periodo [156], [226], [288], especialmente en entornos mediterráneos [178]. En el sistema fluvial, los ciclos diarios y estacionales de fusión de nieve producen episodios de escorrentía que pueden repercutir en la configuración del sedimento del lecho y en la dinámica del transporte [200], [290], [179].

Por otra parte, el carácter torrencial de los cauces de montaña condiciona procesos en forma de flujo de derrubios que se depositan en forma de abanico aluvial aguas abajo [264]. Este almacenamiento constituye una fuente importante para las aportaciones durante eventos intensos. La cantidad total por carga de fondo y suspendida de estas contribuciones puede variar mucho dependiendo de la geología de la cuenca, su régimen pluviométrico y el tamaño y morfología de los sedimentos del río [47] y podría llegar hasta el 50% de carga de fondo en comparación con la fracción de sedimento en suspensión [294]. La Tabla 4 muestra a gran variabilidad de estas aportaciones a partir de mediciones en embalses en zonas mediterráneas de montaña (de norte a sur; Alpes (Italia), Pirineos (España), Apeninos (Italia), Sierra Nevada (España), Atlas (Marruecos) (adaptado de [178]). Se observan unas tasas erosivas mayores en áreas con condiciones áridas y semi-áridas (Atlas y Sierra Nevada), y la gran variabilidad en el caso de Pirineos, que alcanzan el valor máximo en el embalse de Barasona.

Aunque la acción antrópica, los cambios de uso del suelo y la cobertura vegetal afectan de manera muy especial a la dinámica erosiva y sedimentaria de estas zonas [206], el interés por evaluar la influencia de los forzadores hidrometeorológicos ha aumentado significativamente en los últimos años. Cambios en los patrones climáticos en cuencas montañosas pueden conducir a variaciones estacionales en el flujo de agua, desde el deshielo primaveral hasta la escorrentía directa en invierno, con variaciones significativas en su aportación sedimentaria [166], [167]. En este sentido, las cuencas de montaña pueden considerarse como observatorios especialmente sensibles al cambio climático. La estimación de estos impactos a lo largo de la red fluvial en procesos de sedimentación de embalses, la calidad del agua o la degradación de los ecosistemas, por dar algunos ejemplos, es clave para proponer estrategias efectivas de adaptación y mitigación a los efectos del cambio climático.

El modelado hidrológico e hidráulico a partir de proyecciones climáticas futuras permite valorar los impactos relacionados con los procesos erosivos y sedimentarios y analizar las diferentes estrategias de gestión [120]. La iniciativa CORDEX y EURO-CORDEX, creadas por el Programa Mundial de Investigación sobre el Clima (PMIC), proporcionan un marco coordinado de resultados de Modelos de Circulación Global (MCG) regionalizados, tomando como referencia "Fifth Assessment Report (AR5)" del año 2014 [228]. Dispone de una interfaz gráfica de descarga de datos para la región europea. Las simulaciones incluidas en EURO-CORDEX consideran los nuevos escenarios RCP (Representative Concentration Pathways) y la regionalización de los resultados de los MCG, lo que permite aumentar la resolución espacial

con tamaños de cuadrícula de unos 12 km. Los datos obtenidos de estas proyecciones han de ser corregidos y adaptados por sesgo (Bias-adjustment). La Figura 14 muestra los resultados de simulación de procesos erosivos flujo concentrado y acarcavamiento en áreas de la ladera sur de Sierra Nevada. Como se observa, el escenario RCP-8.5 simulado a partir del modelo IPSL [174] muestra un incremento significativo de los procesos erosivos, estimado en 33%, relacionado con la disminución del 74% de la cantidad de precipitación en forma de nieve. A pesar de que las predicciones apuntan a una disminución generalizada de la precipitación, la forma en la que llueve es determinante para la movilización de sedimento. Se espera que la intensidad de los eventos de precipitación aumente entre un 14,5% (RCP 4.5) y un 6,9% (RCP8.5), influyendo significativamente en el cálculo de la producción de sedimento [46].

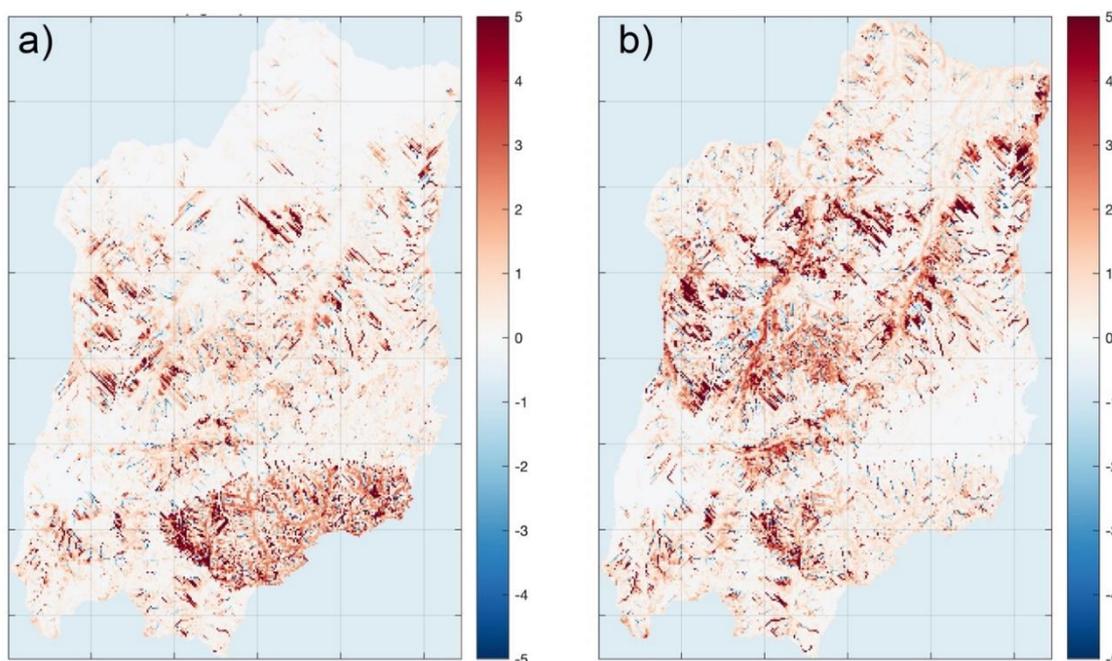


Figura 14: Resultados obtenidos con el modelo distribuido y de base física WiMMed [134] en la cuenca del río Guadalfeo (Granada) para procesos erosivos de ladera (kg/m²) a partir de la serie histórica (a) y del escenario climático RCP-8.5 a partir de los resultados del modelo de circulación global IPSL-CM5-MR regionalizado (RCM) RCA4 del instituto SMHI (b).

2.4.3. Evaluación integral de procesos erosivos y sedimentarios

Para evaluar el impacto erosivo y sedimentario a lo largo de la red fluvial, y sus consecuencias en la planificación hidrológica y la toma de decisiones, es necesario entender el continuo de los procesos de erosión y transporte desde una perspectiva integral [227]. Desde la desagregación del suelo por las gotas de lluvia, el flujo concentrado en regueros o cárcavas y el transporte aguas abajo hasta los procesos hidrodinámicos en el cauce, el flujo de sedimento ha de entenderse como una concatenación de procesos relacionados entre sí. Su continuidad y (des)conexión entre subsistemas y su disponibilidad a lo largo de la red de

drenaje condiciona las respuestas erosivas ante los impactos antrópicos y el cambio climático [136]. Sin embargo, los estudios a menudo se abordan a escala local, en determinados sistemas analizados desde metodologías y disciplinas científicas muy dispares. El análisis de la continuidad o conectividad de estos flujos entre áreas de ladera y el sistema fluvial es esencial para comprender los efectos asociados a los procesos erosivos y sedimentarios [154], [241].

Como concepto holístico, la conectividad del flujo de sedimento es muy difícil de cuantificar debido a la multitud de factores y a la heterogeneidad en su medición [293]. Sin embargo, el gran interés que ha despertado este tema en los últimos tiempos, así como las nuevas técnicas y fuentes de información, han facilitado diferentes propuestas metodológicas de evaluación de la conectividad del sedimento a lo largo de la red fluvial. Se han evaluado factores como la topografía, los usos del suelo, la cobertura vegetal y la rugosidad de la superficie para la elaboración de diferentes propuestas de índices de conectividad [35], [49]. Otros índices incluyen la intensidad de lluvia, la erosionabilidad del suelo y la eficiencia de retención de las infraestructuras aguas abajo para su estimación [34].

A escala de cuenca, la cuantificación de los aportes de ladera y fluvial representa un paso adelante para obtener una comprensión más profunda de la naturaleza y la dinámica de los procesos erosivos y sedimentarios en cuencas fluviales. Sin embargo, la heterogeneidad de estos sistemas y sus diferentes respuestas a factores climáticos y antrópicos complican su seguimiento. Aunque los métodos de medida que se utilizan comúnmente para determinar la carga suspendida permiten la monitorización continua a partir de la turbidez, medir la carga de fondo es muy complejo, lento y costoso [36]. Además, en ríos mediterráneos es difícil de cuantificar debido al gran volumen de sedimento transportado durante pulsos intensos y las limitaciones de los muestreadores empleados.

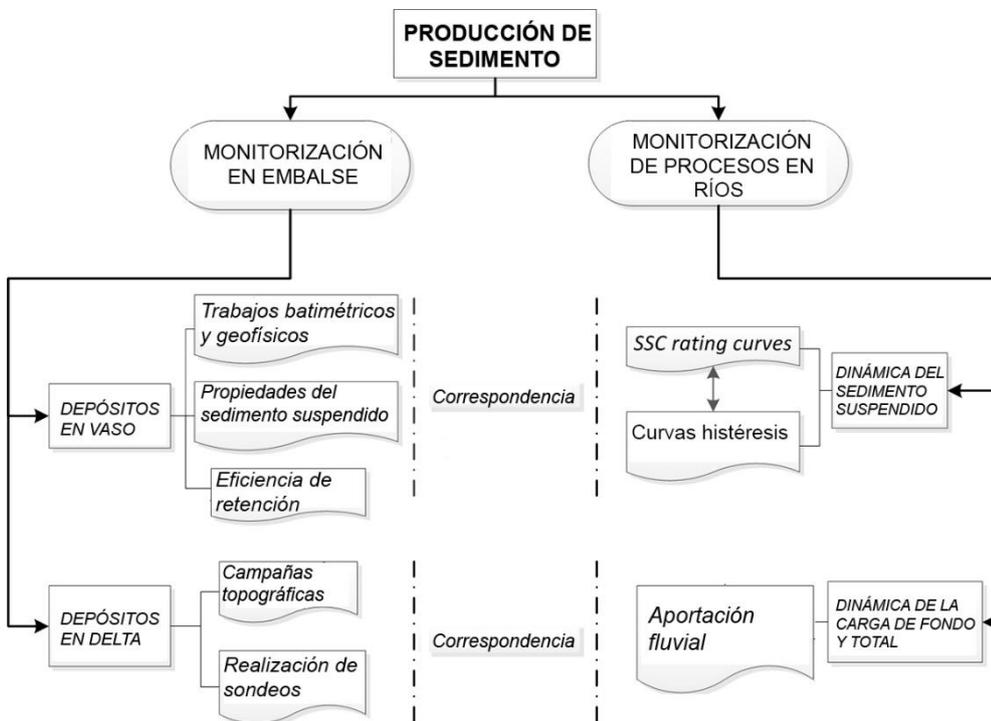


Figura 15: Metodología de análisis integral de aportaciones sedimentarias en embalse (adaptado de [178]).

Las metodologías indirectas basadas en la monitorización del sedimento acumulado en los embalses permiten comprender la dinámica de los procesos erosivos y de transporte [158] y estimar tasas reales de producción de sedimento [11], [18]. Estas metodologías proporcionan información que comprende respuestas hidrológicas, hidráulicas y sedimentológicas en una amplia gama de escalas espacio-temporales [239]. En ríos de gravas de montaña es posible asociar los procesos de carga de fondo y suspensión con su ubicación dentro de la ladera, con contribuciones en su mayoría finas, y el sistema fluvial, respectivamente [139]. Sin embargo, este modelo conceptual no permite una estimación detallada de las fuentes, los sumideros o los flujos de sedimentos que tienen lugar a lo largo de la red fluvial. La Figura 15 muestra un esquema conceptual de evaluación integral de transporte de sedimento en cuencas mediterráneas de montaña.

2.4.4. Nuevas herramientas y retos futuros

En áreas de ladera, la estimación de tasas erosivas se suele abordar a partir de modelos paramétricos, como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (revisada o modificada) [309], [243], y de un cálculo adicional de la tasa de entrega (o Soil Delivery Ratio, SDR) [300]. Estos modelos, aunque ampliamente validados bajo diferentes condiciones, no incluyen algunos procesos dominantes, no consideran la variabilidad espacial y temporal de todos los agentes forzadores a escala de evento [222], y tampoco proporcionan información sobre los procesos de flujo, transporte y sedimentación a lo largo de la red de drenaje. Los modelos distribuidos

y de base física capturan la variabilidad espacial de los agentes hidrometeorológicos, los gradientes relacionados con el relieve y la variabilidad de la capa edáfica a lo largo del tiempo. A pesar de las limitaciones relacionadas con su incertidumbre y la gran cantidad de parámetros necesarios estos modelos tienen un gran potencial como herramientas de gestión de cuencas. Ejemplos como los modelos WEPP [212], EUROSEM, WiMMed [134] o HEMINGS [180], adoptan un enfoque distribuido que permite modelar pérdida de suelo, el flujo de carga sólida y los procesos de sedimentación aguas abajo [184].

En el análisis del sistema fluvial, los avances en métodos numéricos y de las mejoras de la capacidad de cálculo de las últimas décadas han permitido avances significativos. Los diferentes esquemas y planteamientos 1D, 2D y 3D han permitido acotar la magnitud y distribución de procesos de sedimentación de embalses, socavación del lecho, impactos relacionados con la construcción de presas, distribución del sedimento en estuarios y deltas, efectos locales alrededor de estructuras y la influencia de la vegetación en los procesos morfodinámicos, por poner solo algunos ejemplos. La evaluación de cambios en el uso del suelo, las nuevas misiones satélite y las técnicas de análisis ofrecen herramientas de gran interés para la monitorización de estos cambios con una alta resolución espacial y temporal. Además, las tecnologías basadas en inteligencia artificial proporcionan herramientas que permiten elaborar pronósticos sobre las tendencias climáticas futuras y sus impactos erosivos asociados.

La caracterización estocástica de los eventos de precipitación, temperatura, radiación, etc. permite simular de manera estocástica, física y distribuida la distribución espacial y temporal de los forzadores climáticos y los procesos hidrológicos y fluviales asociados. Esta aproximación ofrece una imagen probabilística bajo diferentes escenarios futuros de los ríos, embalses, costas, etc. y permite pronosticar y tomar decisiones basadas en el riesgo. Esta información es clave para responder a preguntas relacionadas con la gestión integral de protección y evaluación de los daños ocasionados por los procesos de erosión, transporte y sedimentación. La pregunta de cuál será el estado de nuestros ríos en el futuro y cuáles son las medidas óptimas de corrección, mitigación y adaptación en un contexto de cambio climático y global, ha de abordarse desde un punto de probabilístico, de análisis del riesgo y con un enfoque integral.

3. Marco estratégico

3.1. Bases jurídicas y normativas sobre la gestión de impactos climáticos en ríos y costas

Francisco Javier Sanz Larruga

Universidad de A Coruña

3.1.1. Introducción

La regulación jurídica de los efectos de cambio climático sobre los bienes del dominio público hidráulico (que incluye los ríos) y de la zona marítimo-terrestre (relativa, en términos generales, a la costa) es bastante reciente, salvo la incidencia que sobre éstos bienes ha derivado -desde sus inicios- de la normativa sobre evaluación de impacto ambiental².

En el grupo normativo sobre las aguas, la primera regulación sobre el cambio climático es la relativa a la evaluación y gestión de riesgos de inundación de 2010, motivada por la transposición a nuestro país su correspondiente Directiva de la Unión Europea, si bien sus efectos se extienden también, como veremos, a las zonas costeras. Llama la atención, no obstante, que en la vigente normativa básica sobre aguas -que se encuentra en el Texto Refundido de la Ley de Aguas (aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio)³ - no existe referencia alguna al cambio climático.

Por su parte, en la normativa reguladora de las costas, sí que existe un régimen jurídico relativo a los efectos del cambio climático, vigente desde la aprobación de la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de la modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.

En los siguientes apartados desarrollaremos brevemente el régimen jurídico que ofrecen ambas normativas (de aguas y de costas) con referencia a la más relevante doctrina jurídica que ha abordado estas materias.

² Desde la regulación del impacto ambiental por el -ya derogado- Real Decreto Legislativo 1320/1986, de 28 de junio, donde se prevé la inclusión en los estudios de impacto ambiental de los "factores climáticos" (cfr. su art. 2, 1, c)

³ Sólo hay unas escasas referencias al "cambio climático" en su normativa de desarrollo reglamentario. Así, por ejemplo, el "Reglamento Público Hidráulico", aprobado por el RD 849/1986, de 11 de abril (cfr. su art. 244 quinquies, introducido por el Real Decreto 638/2016) y el Reglamento de la Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007 (cfr. sus arts. 11 sobre el "inventario de recursos hídricos naturales" y el 21 sobre "balances, asignación y reserva de recursos"). Posteriormente, el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro (cfr. en particular, el art. 71,1).

3.1.2. Normativa estatal relativa a los impactos del cambio climático en materia de aguas. En particular, la evaluación y gestión de riesgos de inundaciones.

Como ya hemos adelantado, en el grupo normativo sobre el derecho de aguas, ha sido el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación el que, en transposición España de la Directiva 2007/60/CE, de 23 de octubre, relativa a la evaluación y gestión de riesgos de inundación⁴, el que, por primera vez, establece las medidas que han de aplicarse ante los riesgos de inundación que se pueden derivar del cambio climático⁵.

Bien es verdad que, como señala el “Plan Nacional de Adaptación al cambio climático” (2021-2030), se prevén diversos efectos del cambio climático (la “variabilidad climática”) sobre el agua y los recursos hídricos, como el incremento del riesgo de sequías, desequilibrios geomorfológicos en las cuencas, el aumento de la evapotranspiración, la afectación de la calidad de las aguas y ecosistemas acuáticos y, por supuesto, el riesgo de inundaciones⁶. Sin embargo, en la normativa de aguas sólo aparece explícitamente vinculado con el cambio climático el caso de las inundaciones (en el referido RD 903/2010)⁷.

Además, el repetido RD 903/2010, al regular las inundaciones, sus disposiciones no sólo afectan a los márgenes fluviales sino que también se proyectan sobre las zonas costeras⁸, definiendo de forma precisa los supuestos de “inundación de las zonas costeras”⁹. En cuanto a su específico régimen jurídico –que se aplica, tanto sobre inundaciones procedentes de aguas continentales, como las “causadas por el mar en las zonas costeras y las producidas por la acción conjunta de ríos y mar en las zonas de transición” (art. 3, b) in fine) RD 903/2010- se prevén tres modalidades de instrumentos de carácter secuencial:

1. En una primera fase, la elaboración de la “evaluación preliminar del riesgo de inundación” (regulada en el Capítulo II del citado Real Decreto), que deberán realizarse

⁴ Esta Directiva tiene su base en la Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Sobre esta materia de las inundaciones vid. los estudios [162], y [163], y también [198]. La Directiva 2007/60/CE trae causa, a su vez, de la Directiva Marco del Agua de 2000.

⁵ De hecho, entre los desastres naturales que se producen en España, los daños por las inundaciones y temporales marítimos son los más cuantiosos (es estiman en unos 800 millones de euros anuales).

⁶ Cfr. apartado I.3 del Plan de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030), p. 103

⁷ En el Texto Refundido de la Ley de Aguas se regula el caso de las sequías (cfr. sus arts. 46, 1, b); 58; 92, e); 104, 2) pero sin que expresamente aparezca vinculado con los efectos del cambio climático.

⁸ Como se declara en el Preámbulo del RD 902/2010: “en materia de protección de la costa, parte de los preceptos previstos e impulsados por este real decreto desarrollan y complementan la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas (...). De esta forma, se coordinan adecuadamente las inundaciones en la costa, con las inundaciones en las zonas de transición y las inundaciones fluviales, incorporando todas ellas en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

⁹ El art. 3 del RD 903/2010 las define como: “anegamiento temporal o permanente de terrenos que no están normalmente cubiertos de agua a causa de mareas, oleaje, resacas o procesos erosivos de la línea de costa, y las causadas por la acción conjunta de ríos y mar en las zonas de transición” (apartado c). Incluso define también otros conceptos costeros como la “zona costera inundable” (apartado n). Desde el punto de vista técnico, se distinguen dos tipos de inundaciones relacionadas con el mar: las costeras o marinas (causadas por mareas meteorológicas, oleaje, onda larga) y maremotos (producto de las erupciones volcánicas y temblores submarinos que sacuden el Planeta). El concepto de inundación costera o “cota de inundación” se compone de la suma del “nivel medio del mar”, la “marea astronómica”, la “marea meteorológica” y el llamado “run up” (o sobreelevación por efecto del oleaje).

en cada “demarcación hidrográfica”¹⁰, con objeto de “determinar aquellas zonas del territorio para las cuales se haya llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial de inundación significativa o en las cuales la materialización del riesgo puede considerarse probado” (art. 5)¹¹.

2. Como segundo hito del proceso de aplicación de la Directiva 2007/60/CE, los “mapas de peligrosidad (cálculo de la zona inundable) y de riesgo de inundación (incorporación a la zona inundable de los usos del suelo en cada zona y de los principales daños esperados)” -regulados en el Capítulo III del RD 903/2010- que han de elaborarse en cada “demarcación hidrográfica”¹². Dicha información se integrará en el “Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables” (art. 10.3).
3. Los “planes de gestión del riesgo de inundación” -regulados en el Capítulo IV del RD 903/2010 (arts. 11 al 17)- que deberán elaborar los organismos de cuenca (en las cuencas intercomunitarias) y las Administraciones competentes (en las cuencas intracomunitarias) en cada demarcación geográfica, constituyen la herramienta clave de la Directiva 2007/60 y tienen como objetivo lograr una actuación coordinada de todas las Administraciones Públicas y la sociedad para reducir las consecuencias negativas de las inundaciones, basándose en los programas de medidas que cada una de las Administraciones debe aplicar en el ámbito de sus competencias. La aprobación de estos planes corresponde al Gobierno de la Nación (cfr. art. 13)¹³.

Por su parte, los arts. 9, 9 bis, 9 ter, 9 quáter, 14 y 14 bis del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril y sus modificaciones posteriores) establecen la regulación específica sobre las modalidades de cada zona según su peligrosidad¹⁴. Y, en cuanto a las Comunidades Autónomas, éstas pueden establecer normas

¹⁰ La “demarcación hidrográfica” está conformada por la zona terrestre y marina, compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas (RD 125/2007 por el que se fija su ámbito territorial). En la actualidad, por Resolución del Secretario de Estado de Medio Ambiente de 12 de abril de 2019, están aprobadas las revisiones y actualización de la evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRIs) de las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias.

¹¹ Cfr. El art. 7.3 del RD 903/2010, sobre especificaciones relativas a las zonas costeras en el proceso de elaboración de dicha evaluación.

¹² Sobre estos mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación del segundo ciclo. Por Resolución de la Dirección General del Agua de 1 de agosto de 2019, está iniciado el proceso de consulta pública de revisión y actualización. Una vez finalizada esta fase se someterán a informe del Comité de Autoridades Competentes u organismo equivalente en las cuencas intracomunitarias, y, posteriormente, se remitirán al Ministerio para su incorporación al Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.

¹³ Sobre sus principios y objetivos, art. 11 del RD. En todo caso, resaltamos el principio recogido en la letra d) del citado artículo: “evitando el deterioro injustificado de los ecosistemas fluviales y costeros, y potenciando medidas de tipo no estructural contra las inundaciones”. La mayor parte de estos “planes de gestión del riesgo de inundación” de cada Demarcación Hidrográfica han sido aprobados por el Consejo de Ministros de 15 de enero de 2016 (vid. su publicación en el BOE nº 19 de 22 de enero de 2016). No obstante, estos planes se deben revisar y actualizar antes del 22 de diciembre de 2021.

¹⁴ La peligrosidad frente a inundaciones, en función de la zona donde se vaya a desarrollar el uso o actividad:

- Zona Flujo Preferente (ZFP): limitaciones a los usos vulnerables frente a avenidas o que supongan una reducción de la capacidad de desagüe.
- Zona inundable (ZI): criterios constructivos para las edificaciones destinadas a viviendas y recomendaciones de seguridad para otros usos.
- Régimen especial municipios alta inundabilidad: para municipios con más de 1/3 de su superficie incluida en la ZFP, o que por la morfología de su territorio tengan una imposibilidad material para orientar sus futuros desarrollos hacia zonas no inundables.

adicionales de protección respecto a las limitaciones de usos en las zonas inundables¹⁵. Y, finalmente, la normativa contenida en los propios planes hidrológicos de cuenca puede recoger igualmente determinadas limitaciones específicas y más protectoras a los usos en zonas inundables en sus ámbitos territoriales, respetando la regulación básica establecida en el referido Reglamento de Dominio Público Hidráulico.

La necesaria gestión integrada de las cuencas hidrográficas y de las zonas costeras supone - en este tema de la gestión de los riesgos de inundación- una prioridad que debe superar las inercias del pasado, de la gestión separada -no unitaria- de ambos ámbitos geográficos, cuya interdependencia es naturalmente indiscutible¹⁶.

Finalmente, cabe destacar la reciente aprobación de la Ley 7/2021, de 20 de mayo de Cambio Climático y Transición Energética. En su Título V sobre “Medidas de adaptación frente a los impactos del cambio climático” se recoge un extenso artículo 19 relativo a la “consideración del cambio climático en la planificación y gestión del agua” cuyo contenido pasamos brevemente a resumir en los siguientes apartados:

1. Se establecen un objetivos general sobre la adaptación al cambio climático en la planificación y gestión hidrológica: la “seguridad hídrica” tanto para las personas, para la “protección de la biodiversidad”, así como para las “actividades socioeconómicas”, conforme a la “jerarquía de usos” (cfr. el art. 60 del Texto Refundido de la Ley de Aguas, sobre “orden en la preferencia de usos”); todo ello para lograr la reducción de la “exposición y vulnerabilidad al cambio climático” como incrementar su resiliencia (cfr. art. 19, 1).
2. Para orientar la planificación y gestión hidrológicas se prevé la aprobación -en el plazo de un año desde la aprobación de la Ley 7/2021- de la “Estrategia del Agua para la Transición Ecológica” a cuyas directrices y medidas han de adecuarse dichas actuaciones (cfr. art. 19, 2).
3. En todo caso, la planificación y gestión hidrológicas -en “coherencia con las demás políticas”- han de “incluir los riesgos derivados del cambio climático” entre los que se recogen los relativos a los impactos sobre “los regímenes de los caudales ecológicos”, “los recursos disponibles en los acuíferos”, a los riesgos derivados de los “cambios de frecuencia e intensidad de fenómenos extremos”, del “incremento de la temperatura del agua”, del “ascenso del nivel del mar sobre las masas de agua subterránea, las zonas húmedas y los sistemas costeros” (cfr. art. 19, 3).

¹⁵ Así, por ejemplo, es el caso del “Plan de Prevención de avenidas e inundaciones en cauces urbanos andaluces”, aprobado mediante el Decreto 189/2002; el “Plan de Acción Territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunidad Valenciana” (PATRICOVA), aprobado por Decreto 201/2015; o el “Plan territorial Sectorial de Ordenación de ríos y arroyos de la Comunidad Autónoma del País Vasco”, aprobado por Decreto 449/2013.

¹⁶ Un buen intento en la doctrina jurídica de visualizar jurídicamente la necesidad de esta gestión integrada es [209], que fue objeto de la tesis doctoral dirigida por el Profesor Estanislao ARANA GARCÍA y defendida, en enero de 2014, en la Facultad de Derecho de la Universidad de Granada. Su texto puede consultarse en la siguiente dirección de internet: <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/32663/1/23539884.pdf>.

4. Desde una perspectiva preventiva, el art. 19, 4 y con el objeto de “abordar los riesgos” la planificación y gestión hidrológicas deberán: “anticiparse a los impactos previsibles (...) identificando y analizando el nivel de exposición y la vulnerabilidad de las actividades socioeconómicas y los ecosistemas”; “identificar y gestionar los riesgos (...) en relación con su impacto sobre los cultivos” (...) necesidades para refrigeración de centrales”; “considerar e incluir en la planificación los impactos (...) sobre las tipologías de las masas de agua...”; “determinar la adaptación necesaria de los usos de agua compatibles con los recursos disponibles”; etc. También se prevé la elaboración de un “plan de financiación de las actuaciones” que se desarrollen para abordar los referidos riesgos.
5. Por último, el art. 19, 5 abre a la consideración de las Administraciones hidrológicas, en el “marco de los planes de gestión de riesgo de inundación” la posibilidad de incluir “medidas de control de avenidas mediante actuaciones de corrección hidrológico forestal y prevención de la erosión”.

3.1.3. Normativa estatal relativa a los efectos del cambio climático sobre las zonas costeras

Con motivo de la reforma de la Ley de Costas de 1988, operada por la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de Protección y Uso Sostenible del litoral (posteriormente complementado por Reglamento General del Costas, aprobado por el Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre) se introdujeron, por primera vez, una serie de disposiciones relacionadas con los efectos del cambio climático sobre los bienes del dominio público marítimo-terrestre¹⁷. No obstante, antes de pasar a analizar sus contenidos fundamentales, cabe señalar que en 2011 entró en vigor -en el marco del Convenio de Barcelona para la protección del Mar Mediterráneo de 1976- el Protocolo relativo a la Gestión Integrada de las Zonas Costeras del Mediterráneo y que fue ratificado por España en 2010. En este Protocolo hay varias referencias al cambio climático (cfr. sus arts. 3, 2, b); 5, e); 8, 2, a); y 22); en particular, su art. 5 -sobre los objetivos de la gestión integrada de las zonas costeras- dispone que ésta tiene por finalidad: “prevenir y/o reducir los efectos de los riesgos naturales y en particular del cambio climático, que puedan ser debidas a actividades naturales o humanas” (apartado e).

Volviendo al texto de la Ley 2/2013, la inclusión de las referencias al cambio climático se produjeron en la última fase de su tramitación parlamentaria y quizá un tanto apresuradamente¹⁸. La primera referencia se recoge en el reformado artículo 2, a) de la Ley

¹⁷ Hasta el momento presente los trabajos publicados analizando particularmente esta materia -las relaciones entre el nuevo régimen jurídico de las costas y el cambio climático- son: [209], [210], [211], [208], [231], [111], [9], [237], [214], [266], **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Arana García, E. (2015): “La Ley 2/2013, de protección y usos sostenible del litoral: las “soluciones singulares” y las nuevas medidas relativas a los riesgos naturales de la costa” en *Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente*, nº 295, pp. 101-136;

¹⁸ La referencia al cambio climático en la ley había sido reclamada por los grupos ecologistas y por algunos expertos en ingeniería costera. Vid. el informe presentado por Losada Rodríguez (2012). También el trabajo [211] donde, además de llamar la atención sobre la importancia de introducir en la LC medidas contra los efectos del cambio climático y de tener en cuenta las múltiples

de Costas, relativo a los “fines” de la actuación administrativa sobre el dominio público marítimo-terrestre, que incluye, junto a los su determinación, aseguramiento de su integridad y adecuada conservación, y adopción, en su caso, de las “medidas de protección y restauración necesarias” y “cuando proceda de adaptación teniendo en cuenta los efectos del cambio climático”¹⁹.

Por otra parte, también directamente relacionado con los efectos del cambio climático, es el nuevo régimen de los tramos del dominio público marítimo-terrestre que están “en situación de regresión grave” y que se contiene en el art. 13 ter de la LC²⁰. De forma resumida, la Administración General del Estado puede declarar por Orden Ministerial (previo informe de la Comunidad Autónoma correspondiente) en “situación de grave regresión” los tramos del dominio público marítimo-terrestre en los que se verifique un retroceso en la línea de orilla (apartados 1º y 6º) y en consecuencia, dicha declaración impide en otorgamiento en dichos tramos de ningún título de ocupación (apartado 2º); no obstante, excepcionalmente, podrán otorgarse (salvo riesgo de inundación) ciertos de derechos de ocupación y la Administración del Estado podrá realizar sobre ellos actuaciones de protección, conservación o restauración, con la posibilidad de imponer a los beneficiarios contribuciones especiales (apartados 3º a 5º); en todo caso, si se produce la inundación por el mar, se extinguen los títulos habilitantes para su ocupación (apartado 4º in fine), si bien, los efectos de la declaración de “regresión grave” se pueden revocar si las circunstancias que la motivaron desaparecen (apartado 7º)²¹.

Otro apartado donde se reflejan los efectos del cambio climático sobre el régimen de la Ley de Costas son los relativos a la regulación de la utilización del dominio público marítimo-terrestre. Siguiendo el análisis efectuado por Arroyo Yanes se pueden señalar los siguientes elementos normativos:

1. La exigencia de la inclusión del contenido de la evaluación de los efectos del cambio climático en los proyectos de ocupación del dominio público marítimo-terrestre (cfr. los arts. 44,2 párrafo 2º de la Ley de Costas, y 91, 2 y 92 en conexión con el art. 85, 1

competencias (estatales, autonómicas y locales) que concurren en la protección y ordenación del litoral, subrayan la necesidad de articular mecanismos e instrumentos eficaces para la coordinación y colaboración interadministrativas en esta materia. Por su parte [237] incide en la falta de integración en el proyecto de ley sobre la adaptación al cambio climático (cit. pp. 90 y 91). Finalmente, [10] señala al respecto: “nos hallamos (...) ante unas meras disposiciones transversales (...) pero sin ofrecer un tratamiento acabado y completo para afrontar todos los retos que pueden llegar a generar esa problemática en ese contexto concreto” y concluye “se trata de medidas normativas parciales que articulan una primera y somera aproximación a la problemática referida pero que, aunque supongan un primer cuadro normativo del que partir, resulta todavía insuficiente para afrontar la problemática toda que en el plano jurídico-administrativo ofrece el cambio climático en el litoral” (cit. y op. cit. p. 425).

¹⁹ El subrayado es mío. Cfr. También el art. 2, a) del RLC. Según [10] este criterio tiene un alcance limitado ya que no a proyectarse más allá del dominio público marítimo-terrestre pese a que los efectos pueden ir más allá, sobre los terrenos contiguos a la ribera del mar (cit. y loc. cit. pp. 433-434)

²⁰ Cfr. el comentario a esta disposición en el trabajo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

²¹ Según **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**-además que la novedad de este régimen jurídico es relativa (p. 77) - esta regulación “podría calificarse como una medida del legislador más efectista que práctica” (p. 478); incluso llega a afirmar comentando el desarrollo reglamentario de la Ley de Costas en esta materia que “el Reglamento de la Ley de Costas, realmente ha querido que el régimen del dominio público en situación de regresión grave no tenga efectividad” (p. 456). Por otra parte, según la misma autora, también es criticable la “escasa atención que presta la legislación de costas a los espacios de propiedad privada colindantes con los tramos de demanio público en situación de regresión grave, más en particular cuando el avance del mar se haya saldado con una modificación hacia el interior de la línea de la ribera del mar” (p. 456).

- del Reglamento de la Ley de Costas). Dichos proyectos habrán de formularse conforme al planeamiento urbanístico y han de prever a adaptación de las obras a su entorno y, en su caso, la influencia de la obra sobre la costa y los posibles efectos de regresión²².
2. La consideración del cambio climático en relación con los proyectos de las Comunidades Autónomas sobre bienes del dominio público marítimo-terrestre que le están adscritos (cfr. art. 106 del Reglamento de la Ley de Costas). Se proyecta sobre obras efectuadas por las Administraciones autonómicas sobre dicho dominio tales como nuevos puertos y vías de transporte, así como de la aplicación o modificación de las existentes, para cuya aprobación se requiere el informe favorable de la Administración General del Estado²³.
 3. La consideración de los efectos del cambio climático en relación con el otorgamiento de las autorizaciones administrativas de extracciones de áridos y de la realización de dragados (cfr. art. 128, 3 Reglamento de la Ley de Costas)²⁴.
 4. El cambio climático como elemento favorable a la ampliación de plazos relativos a las concesiones (cfr. arts. 66,2 Ley de Costas y 135, 5 in fine Reglamento de la Ley de Costas). Cuando se trate de usos que desempeñen una función o presten un servicio que, por su naturaleza, requieran la ocupación del dominio público marítimo-terrestre o de servicios públicos o al público, sus respectivos plazos de concesión pueden ampliarse en una quinta parte si sus solicitantes presentan un proyecto para la regeneración de las playas y lucha contra la erosión y los efectos del cambio climático²⁵. En definitiva, como bien expresa Arroyo Yanes, “la Administración utiliza a estos concesionarios como agentes colaboradores para este fin contra la erosión y el cambio climático”^[10].
 5. Los efectos de cambio climático como causa de extinción del derecho a la ocupación del dominio público marítimo-terrestre al mediar la revocación de la concesión por existir riesgo de que las obras e instalaciones sean alcanzadas por el mar (cfr. arts. 55; y 78,1 Ley de Costas en relación con el art. 161, 1, m) Reglamento de la Ley de Costas). Como añade Arroyo Yanes debe tratarse de un riesgo palpable para justificar la revocación, tanto de las autorizaciones como de las concesiones, que además no conllevan un derecho de indemnización²⁶.
 6. Los posible efectos del cambio climático como obligación a incluir en los títulos de otorgamiento de concesiones y autorizaciones (cfr. arts. 76, m) Ley de Costas y 161, 1

²² [10] cit. y loc. cit. p. 435. En los arts. 91 y 92 del RLC se precisan los requisitos para llevar a cabo dicha evaluación. En opinión de Arroyo Yanes, esta regulación “es una de las grandes aportaciones del autor del RLC a la problemática del cambio climático en las zonas costeras” (Ibidem. p. 436).

²³ [10] pp. 437 a 439.

²⁴ [10] pp. 439 a 440. Sobre este tema téngase en cuenta la existencia del documento aprobado en 2015 por la Comisión Interministerial de Estrategias Marinas: “Directrices para la caracterización del material del dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre”.

²⁵ [10]. p. 440.

²⁶ [10]. pp. 440 y 441.

en relación con el 158 y ss. del Reglamento de la Ley de Costas). Se trata de condiciones que pueden incluirse en los títulos de otorgamiento de concesiones y autorizaciones, como resultado de la evaluación de sus efectos y, en su caso, sobre las obligaciones del adjudicatario de adoptar las medidas por la Administración de adaptación a la subida del mar, los cambios de oleaje o otros efectos del cambio climático²⁷.

7. La circunstancia del cambio climático como criterio de graduación de la ampliación de los plazos máximos en las prórrogas de las concesiones otorgadas al amparo de la normativa anterior (cfr. arts. 66, 2 Ley de Costas y 175, 1, a) Reglamento de la Ley de Costas). Como el supuesto recogido en el apartado 4º, se puede ampliar en una quinta parte el plazo cuando el concesionario financie proyectos de regeneración de playas o de lucha contra la erosión y los efectos del cambio climático²⁸.
8. Asumiéndose como factor de mitigación del cambio climático vinculándolo a la eficiencia energética de las obras e instalaciones realizadas al amparo de la normativa anterior (cfr. Disposición Transitoria 4ª de la Ley de Costas y art. 175, 1, b) Reglamento de la Ley de Costas)²⁹.

Finalmente, la Ley 2/2013, establece en su Disposición Adicional 8ª la exigencia de la elaboración de determinados instrumentos estratégicos y de planificación frente a las incidencias del cambio climático por parte de las siguientes Administraciones territoriales:

1. Una “estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático”, que deberá elaborar el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, en el plazo de dos años desde la entrada en vigor de la Ley 2/2013, y que deberá someterse a evaluación ambiental estratégica. En dicha Estrategia deberá contenerse como mínimo la indicación de “los distintos grados de vulnerabilidad y riesgo del litoral y se propondrán medidas para hacer frente a sus posibles efectos” (apartado 1)³⁰. Aunque con dos años de retraso respecto del plazo previsto en la Ley 2/2013, la “Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española” fue aprobada el 24 de julio de 2017.
2. Un “Plan de adaptación” de los terrenos sobre los que se hayan adscrito terrenos de dominio público marítimo-terrestre a las Comunidades Autónomas, conforme al art. 49 de la Ley de Costas, que deberán presentar las mismas a la aprobación del

²⁷ [10]. pp. 441 y 442.

²⁸ [10]. pp. 442 y 443.

²⁹ [10]. pp. 443 y 444. A diferencia del resto de las referencias normativas que remiten a medidas de adaptación al cambio climático de las zonas costeras, esta de la aplicación de eficiencia energética (que aparece junto medidas de ahorro de agua) se trata de medidas de mitigación. Pero como bien señala Arroyo Yanes, “no nos hallamos aquí propiamente con los efectos negativos del cambio climático en los espacios costeros, sino con los espacios costeros como sede física de actividades y comportamientos que pueden producir ese resultado general no querido” ([10]. p. 443).

³⁰ Dice al respecto el preámbulo de la Ley 2/2013: “Junto a estas medidas de carácter jurídico, la Ley impone al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente la obligación de elaborar una estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático. Con ello, se conseguirá disponer de un diagnóstico riguroso de los riesgos asociados al cambio climático que afectan a nuestra costa, y de una serie de medidas que permitan mitigarlos”.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Dicho Plan de adaptación se ha de referir no sólo a los terrenos sino también a “las estructuras construidas sobre ellos para hacer frente a los posibles efectos del cambio climático”.

La casi totalidad de la doctrina jurídica (Pons Cánovas, Arroyo Yanes, Pérez Gálvez, Sanz Larruga, etc.) que ha analizado el nuevo régimen jurídico de las costas y la inserción de la problemática del cambio climático coincide en su crítica por tratarse de una regulación superficial, insuficiente, incompleta y, en ocasiones, errática técnicamente³¹. El mismo Arroyo Yanes concluye en la necesidad de “modificar este grupo normativo para adaptarlo fielmente a las nuevas condiciones ambientales fruto del cambio climático”³² y, “el marco normativo para adaptar y mitigar los efectos del cambio climático en el litoral se encuentra actualmente “in fieri”, esto es, se halla en abierto proceso de desarrollo y acabado”³³. La reforma de la Ley de Costas de 2013 ha sido una oportunidad desperdiciada para abordar con seriedad este problema y, ante la introducción precipitada del cambio climático en la Ley de Costas, también hubiera sido una buena ocasión para haber enriquecido el régimen que estamos estudiando con la aprobación del Reglamento de la Ley de Costas en 2014, pero tampoco esto ha sucedido. Más bien, la reforma de la LC de 2013 ha podido propiciar un retroceso en la defensa de la costa ante el cambio climático al primar por encima de la sostenibilidad ambiental y de la gestión de los riesgos futuros una excesiva prioridad de los intereses económicos y privados que allí concurren.

Una última reflexión de carácter general. Tenemos la convicción, compartida con otros especialistas, de que, antes que abrir tan generosamente los límites en el desarrollo económico de la costa, debería haberse esperado a tener un conocimiento más completo de los riesgos y vulnerabilidades de las zonas costeras ante el cambio climático. O, al menos, haber meditado más pausadamente la relajación protectora que introduce la Ley ante hechos que pueden llegar a ser irreversibles (como la regresión costera en algunos lugares del litoral) y que, pese a la imposición de las contribuciones especiales (para la ejecución de las obras de protección, mejora o defensa del dominio públicos marítimo-terrestre), resultan inasumibles para el erario público.

Finalmente, al igual que el en caso de las aguas, nos referimos a las disposiciones contenidas en la nueva Ley 7/2021, de Cambio Climático y Transición Energética -en el mismo Título V- y, en particular, en el art. 20 sobre “consideración del cambio climático en la planificación y gestión del dominio público marítimo-terrestre”. Resumiendo los contenidos de los cuatro apartados de este precepto sobre adaptación al cambio climático de la Ley de Costas destacamos lo siguiente:

³¹ Desde el punto de vista técnico (no jurídico) son muy relevantes las críticas realizadas por Losada Rodríguez, M. A: (Informe) *Análisis y Comentarios al Borrador de Anteproyecto de Ley de Protección y Uso Sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas*, Granada 1 de octubre de 2012.

³² [10], cit. y loc. cit. p. 445).

³³ [10]. p. 449. Añade en la misma dirección: “queda todavía mucho por realizar y todo ese proceso necesita de un impulso tan intenso y profundo para que, al menos en lagunas zonas del litoral español, pueda afirmarse que nos encontramos ante un régimen terminado y perfilado en todos los aspectos que suscita un capítulo tan sustantivo, complejo y poliédrico como este” (Ibídem).

1. Se hace una llamada -en el apartado 1º del art. 20- al incremento de la resiliencia que debe orientar la planificación y gestión del medio marino “a los efectos del cambio climático”. Adviértase que el “medio marino” es objeto de protección por medio de la Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de Protección de Medio Marino, cuyo objeto es diferente del “dominio público marítimo-terrestre” regulado por la Ley de Costas de 1988 y su reforma por la Ley 2/2013 de Protección y Uso Sostenible del Litoral.
2. El apartado 2º del referido art. 2º hace una mera remisión a la “Estrategia de Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático” (aprobada en 2017) que han de la orientar la “planificación y gestión de la costa”, incidiendo en los objetivos de incremento de la “resiliencia” de la costa y la integración de la adaptación al cambio climático de dichas actividades de planificación y gestión costeras.
3. Sobre la “gestión de los títulos de ocupación del dominio público marítimo-terrestre y sus prórrogas” -regulados en el Título III de la Ley de Costas- recuerda que, en su caso, deben aplicarse las normas sobre terrenos del dominio público marítimo-terrestre declarados “en situación de regresión grave” por efectos del cambio climático (cfr. art. 13 ter de la Ley 2/2013). Se hace también una remisión a la aplicación de “convenios internacionales que contengan regulación relativa a la costa y al mar y a la conservación y uso sostenible del dominio público marítimo-terrestre”; se trata de una referencia implícita al “Protocolo relativo a la Gestión Integrada de las Zonas Costeras” del Convenio de Barcelona, ya citado en esta colaboración. Los factores que han de tenerse en cuenta para la referida “gestión de los títulos de ocupación”: “estado y evolución de los ecosistemas”, “condiciones hidromorfológicas, climáticas y de dinámica costera”, “presión acumulada de los diferentes usos que soporta cada tramo de costa” son algunos de los factores que tienen que evaluarse para la declaración, en su caso, de tramos de la costa “en situación de regresión grave”.
4. El apartado 4º del repetido art. 20 contiene una disposición mucho más relevante que las anteriores ya que establece unos plazos de duración máximos -que no pueden superar los 75 años (conforme a la Ley 22/1988 de Costas y la Ley 33/2003 de Patrimonio de las Administraciones Públicas)- de los títulos de ocupación del dominio público marítimo-terrestre, incluidas sus prórrogas. Esta novedad legal que el Estado puede promover legítimamente, debería haberse introducido, a nuestro juicio, reformando la vigente Ley 2/2013, de protección y uso sostenible del litoral, cuyo art. 2º permite la posibilidad de superar dicho plazo máximo. Conforme al principio de “homogeneidad de la Ley” que orienta la buena técnica legislativa, reconocida por el Tribunal Constitucional (SSTC 136/2011 y 176/2011), esta solución puede plantear algún problema interpretativo. Además, el mismo apartado del art. 20, de cara al futuro, declara la “nulidad de pleno derecho” de los actos administrativos que se dicten tras la entrada en vigor de la Ley 7/2021 como “cláusula de seguridad” para impedir la atribución de títulos de ocupación del dominio público marítimo-terrestre que puedan superar el plazo máximo de 75 años.

3.1.4. Líneas futuras de trabajo

Desde la perspectiva jurídica, en cuanto a las soluciones ante los riesgos climáticos en ríos y costas, proponemos las siguientes líneas de trabajo.

1. Con relación a los impactos potenciales del cambio climático en la gestión del agua y de los recursos hídricos sería oportuno revisar -como sugiere el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030)- la regulación del Reglamento y la Instrucción de Planificación Hidrológica para tener en cuenta en la planificación hidrológica la información disponible y más detallada; además, habría que incorporar los instrumentos legales que concreten las obligaciones sobre evaluación de riesgos y las estrategias de adaptación de la planificación hidrológica a nivel de cuenca.
2. Con relación a los impactos del cambio climático de las zonas costeras -como sugiere la doctrina jurídica y el mismo Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030)- una profunda revisión del régimen jurídico contenido en la Ley de Costas y en su Reglamento en los aspectos relativos a los efectos del cambio climático: revisión del régimen del régimen de tramos en regresión grave y su articulación con los planes de ordenación territorial y urbanística; criterios más objetivables y basados en conocimientos científicos para el otorgamiento de títulos de ocupación del dominio público marítimo-terrestre y sus prórrogas; flexibilización y agilización en el otorgamiento de títulos y en la revisión de los deslindes; eliminación de las barreras a las medidas de adaptación; etc.
3. Común a la gestión de los efectos del cambio climático sobre el dominio público marítimo-terrestre y el dominio público hidráulico, nos parece fundamental promover una proceso de gestión integrada de las zonas costeras y ámbitos hidrológicos que facilite la coordinación y colaboración de las Administraciones competentes, así como la participación de los agentes públicos y privados en la preparación y gestión de los instrumentos de ordenación y gestión correspondientes (cfr. medida nº 26 prevista en la "Estrategia de Adaptación al cambio climático de la costa española" de 2017).

3.2. Políticas públicas en materia de costas

Este apartado tiene por objetivo explicar brevemente los instrumentos de planificación más importantes de la Dirección General de la Costa y el Mar del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico en aplicación de su política de gestión y protección de la costa, fundamentalmente la Estrategia de Adaptación de la Costa a los efectos del Cambio Climático, El Plan Nacional Estratégico para la Protección de la Costa y el resto de Planes cuya finalidad es tener una visión integral para poder afrontar los retos relacionados con la erosión y la inundación, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático, principalmente, la subida del nivel medio del mar.

3.2.1. Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española

La [Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española](#), aprobada en 2017, persigue los siguientes objetivos:

- Incrementar la resiliencia de la costa española al cambio climático y a la variabilidad climática.
- Integrar la adaptación al cambio climático en la planificación y gestión de la costa española.

Según la definición del IPCC (2014) la resiliencia se refiere a la capacidad de los sistemas sociales, económicos y naturales de hacer frente a un evento, tendencia o perturbación, respondiendo o reorganizándose de manera que se mantengan sus funciones esenciales, identidad y estructura, manteniendo también su capacidad de adaptarse, aprender y transformarse.

Dicha Estrategia se compone de cuatro apartados:

1. Diagnóstico de la situación actual.
2. Objetivos específicos, directrices generales y medidas.
3. Implementación y seguimiento.
4. Anexos: planes y programas vinculados.

La Estrategia define una serie de medidas clasificadas en distintas opciones de adaptación en tres grandes grupos, según su finalidad:

- **Protección:** aquellas que tienen como fin último proteger las zonas en riesgo, ya sean parte del sistema socioeconómico o natural, tratando de evitar que se produzcan los impactos derivados de la inundación, erosión, intrusión salina, etc., mediante la reducción de la peligrosidad y/o especialmente la exposición.
- **Acomodación:** aquellas que manteniendo los elementos en riesgo potencial en las zonas afectadas, priorizan la reducción de la vulnerabilidad de los mismos mediante la modificación de usos del suelo, la introducción de normativa específica para las infraestructuras y viviendas o la adopción de medidas que aumenten la preparación de los elementos afectados ante los posibles impactos.
- **Retroceso:** se basan en el abandono planificado de las zonas susceptibles de verse afectadas por los impactos del cambio climático o de los riesgos extremos.

El grupo de medidas que se establecen en la Estrategia son las siguientes:

- Diagnóstico y análisis de riesgos.
- Monitorización sistemática de la costa.
- Introducción de sistemas de alerta temprana y protocolos de evacuación.
- Regeneración y creación de playas y sistemas dunares.
- Construcción de nuevas estructuras de protección.
- Construcción de nuevas estructuras para mantener la línea de costa.
- Adecuación funcional y estructural de las infraestructuras y edificaciones existentes.
- Normativa y códigos de adecuación.
- Introducción de seguros y primas específicas.
- Realineación de estructuras existentes en la línea de costa, en estuarios y desembocaduras.
- Cambios en el uso del suelo.
- Adquisición de terrenos.
- Favorecer la migración hacia el interior de humedales y marismas y creación de nuevas áreas intermareales.
- Captación y concienciación.
- Reducción de barreras y limitaciones.
- Integración en la toma de decisiones.
- Investigación.
- Evaluación de servicios prestados por ecosistemas costeros.
- Relocalización.
- Gestión de concesiones.
- Áreas protegidas.
- Gestión integrada de zonas costeras.

3.2.2. Plan Estratégico Nacional para la Protección de la Costa Española considerando los Efectos del Cambio Climático

Actualmente se está redactando el Plan Estratégico Nacional para la Protección de la Costa Española cuya finalidad es proteger y preservar el litoral mediante una gestión sostenible, adecuada y eficaz, tomando en consideración los impactos del cambio climático, la contribución de los sedimentos de los ríos al litoral, y otras interacciones tierra-mar y actividades económicas que concurren para el uso de la zona costera.

Los resultados clave de este plan serán:

- Caracterización de los problemas actuales de protección costera bajo la perspectiva de los principios de gestión costera integrada de la UE, para toda la costa española y a nivel de 25 unidades de análisis (Provincias + Ciudades Autónomas: las estrategias para la protección de la costa por tramos).
- Aprender de las buenas prácticas y experiencias existentes sobre protección costera.
- Elaborar un instrumento de gestión (el Plan Estratégico) para la protección de la costa, acompañado por documentos técnicos y de apoyo.

3.2.3. Estrategias para la protección de la costa (por tramos)

Las [Estrategias para la Protección de la Costa](#) se elaboran por tramos costeros (provincias y ciudades autónomas) dado las grandes diferencias en las características de la costa española.

Dichas estrategias pretenden guiar la toma de decisiones para ordenar las actuaciones que lleva a cabo la Dirección General de la Costa y el Mar en estas provincias en el marco de sus competencias para la gestión del riesgo de la erosión costera (protección de la costa), buscando sinergias con la gestión del riesgo de la inundación e incorporando la adaptación al cambio climático.

Por el momento se ha realizado un diagnóstico integrado que combina los riesgos de erosión e inundación, la percepción de los problemas costeros y un análisis de la gobernanza.

En función del diagnóstico se ha elaborado un catálogo con 21 medidas que se distribuyen en 11 categorías (véase

Tabla 5).

El marco conceptual de las estrategias para la protección de la costa contiene un Itinerario principal para la prevención del riesgo de erosión costera en cuatro etapas:

1. Liberación del Dominio Público Marítimo- Terrestre (DPMT)
2. Restablecimiento del balance sedimentario
3. Recuperación de los elementos naturales del sistema costero
4. Defensa o retirada de la costa

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

Tabla 5: Catálogo de medidas.

ESTRATEGIA	CATEGORIA	MEDIDA	OBJETIVO
Prevención social e institucional	Mejora de la información disponible	Estudios de disponibilidad del recurso sedimentario	Entender
		Mapas y estudios de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos costeros	
		Monitorización sistemática de la costa	
	Capacitación y mejora del conocimiento	Actividades de formación, capacitación e investigación	
	Mejora de la concienciación del público	Campañas de participación y comunicación de dinámicas, riesgos y gestión de la costa	
		Campañas de educación ambiental	
	Gestión del DPMT	Revisión del deslinde del DPMT	
		Identificación de ocupaciones del DPMT	
		Revisión de títulos para la ocupación del DPMT	
	Mejora de la gobernanza	Coordinación entre administraciones	
Revisión de procedimientos administrativos			
Prevención física y estructural	Medidas basadas en la naturaleza	Gestión del sedimento costero	Actuar
		Regeneración de playas y mantenimiento del ancho de playa seca	
		Mantenimiento y rehabilitación ambiental del sistema dunar de la playa	
		Mantenimiento y rehabilitación ambiental de marismas	
	Estabilización de la costa	Construcción y mantenimiento de estructuras para la estabilización de la costa	
	Defensa de la costa	Construcción y mantenimientos de estructuras y otras actuaciones para la defensa de la costa	
	Retroceso controlado	Relocalización y retirada de ocupaciones del DPMT	
Retirada de estructuras de defensa de la costa			
Recuperación y revisión	Evaluación, análisis y diagnóstico	Análisis expost de eventos de erosión e inundación y lecciones aprendidas de la gestión de la costa	Entender
	Reconstrucción mejorada	Planificación para la rehabilitación del frente costero	Planificar

Los criterios para seleccionar y priorizar las medidas en cada unidad de gestión se basan en los resultados del riesgo en el corto plazo, la información básica del modelo morfodinámico de funcionamiento, la percepción de problemas, y los niveles de prioridad. Las recomendaciones que se dan en cada una de las estrategias son de ámbito regional y no se pueden aplicar a otros tramos de la costa española.

Ya se han redactado las estrategias para la protección de la costa para Huelva, Maresme, Sur Castellón, Sur Valencia y Granada y actualmente, están en redacción las estrategias para la protección de las costas de Almería, Málaga, Cádiz y Baleares.

3.2.4. Planes para la protección del litoral

Los planes para la protección del litoral tienen por objetivo identificar las presiones existentes en un borde litoral concreto y proponer un conjunto integrado de las medidas necesarias para su recuperación, protección, restauración y adecuada gestión litoral.

Actualmente hay dos planes elaborados:

- [Plan para la protección del borde litoral del Mar Menor](#)
- [Plan para la protección del Delta del Ebro](#)

3.3. Políticas públicas en materia de ríos

En relación a la gestión de los recursos hídricos y su relación con los riesgos climáticos, existen dos herramientas fundamentales. Por un lado, los Planes Hidrológicos de Cuenca y por otro lado Los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación que son la principal herramienta para afrontar las inundaciones en las cuencas hidrográficas. En este capítulo, se sintetizará el objeto de dichos instrumentos y las principales medidas que se están actualmente desarrollando.

3.3.1. Planes Hidrológicos

Los Planes Hidrológicos son las herramientas clave para orientar la gestión del agua, integrándola con el compromiso de transición ecológica y de la necesaria adaptación a los efectos del cambio climático. La planificación hidrológica tiene por objetivo hacer compatibles la consecución de los objetivos ambientales para las masas de agua y ecosistemas asociados, con los objetivos socioeconómicos a través de la atención de las demandas para los diferentes usos del agua. Dichos planes se ejecutan en las 35 demarcaciones hidrológicas españolas, que incluyen tanto las aguas continentales (superficiales y subterráneas) como las aguas de transición y costeras, se articula mediante un proceso adaptativo continuo que se concreta a través del seguimiento del plan hidrológico vigente de cada demarcación, y de su revisión y actualización cada seis años

Los planes hidrológicos de segundo ciclo (2015-2021) actualmente vigentes, se están revisando para aprobar antes de final del año 2021 unos nuevos planes para el tercer ciclo (2021-2027). Los principales problemas a los que se están enfrentando el tercer ciclo son los siguientes:

- Adaptación al cambio climático.
- Depuración de vertidos urbanos.
- Lucha contra la contaminación difusa.
- Recuperación ambiental del espacio fluvial. Sinergia con la gestión del riesgo de inundación.
- Gestión sostenible de aguas subterráneas y control de extracciones.
- Objetivos ambientales en zonas protegidas de hábitats y especies (Red Natura 2000) y lucha contra las especies invasoras.

De forma general, los principales documentos que conforman los planes son los siguientes:

- a) **Memoria del plan hidrológico.** Es un documento que resume los principales problemas identificados en la fase del Esquema de Temas Importantes (ETI) y las soluciones que el plan desarrolla, generalmente relacionadas con actuaciones incluidas en el Programa de Medidas o con disposiciones que se incluyen en la parte normativa del plan. La Memoria incluye además el resumen de todos los contenidos obligatoriamente requeridos, de acuerdo con el Artículo 42 del TRLA.
- b) **Anejos a la Memoria.** Se ha pretendido elaborar una Memoria más clara y sintética que en planes anteriores, desplazando a sus Anejos los prolijos contenidos de detalle que el trabajo técnico exige. Aunque con contenido, subdivisiones y ordenación particular para cada caso, los Anejos que acompañan a la Memoria suelen estar referidos a los siguientes temas: Identificación de masas de agua; inventario de recursos hídricos; adaptación al cambio climático; usos y demandas; presiones e impactos; caudales ecológicos; balances, asignación y reserva de recursos; zonas protegidas; programas de control del estado de las masas de agua; valoración del estado; objetivos medioambientales y exenciones; recuperación del coste de los servicios del agua; programa de medidas; participación pública; revisión y actualización del plan hidrológico.
- c) **Normativa.** Algunos contenidos de los planes hidrológicos tienen carácter normativo, bien sea por tratarse de definiciones que han de quedar jurídicamente determinadas en el plan – como las masas de agua, o bien por ser medidas que se establecen en forma de instrumentos generales, como sucede en el caso de los regímenes de caudales ecológicos.
- d) **Programa de Medidas.** En realidad se resume en la Memoria y se concreta en uno de los Anejos a la misma, pero se destaca aquí de forma específica por su relevancia dentro del Plan. Reúne el conjunto de acciones y actuaciones que las administraciones competentes (Administración General del Estado, Comunidades Autónomas, Administraciones locales) acuerdan adoptar y financiar durante los seis años del ciclo de planificación para resolver los problemas existentes y alcanzar los objetivos de la planificación.
- e) **Estudio Ambiental Estratégico.** Los planes hidrológicos han de someterse al procedimiento de evaluación ambiental estratégica que ayudará, entre otras cuestiones de detalle, a asegurar su coherencia con el marco estratégico asociado al Pacto Verde Europeo. En un ejercicio de coordinación sinérgica este procedimiento se desarrolla conjuntamente para los planes hidrológicos y los planes de gestión del riesgo de inundación, elaborados en paralelo.

3.3.2. Los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación

Los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI) tiene por objetivo general conseguir que no se incremente el riesgo de inundación actualmente existente y que, en lo posible, se reduzca a través de los distintos programas de medidas, que deberán tener en cuenta todos los aspectos de la gestión del riesgo de inundación, centrándose en la prevención, protección y preparación, incluidos la previsión de inundaciones y los sistemas de alerta temprana, y teniendo en cuenta las características de la cuenca o subcuenca hidrográfica consideradas, además de los posibles efectos del cambio climático.

Por tanto, los planes de gestión son un instrumento esencial para lograr una actuación coordinada de todas las administraciones públicas y la sociedad para reducir las consecuencias negativas de las inundaciones, basándose en los programas de medidas que cada una de las administraciones debe aplicar en el ámbito de sus competencias para alcanzar el objetivo previsto.

Actualmente están vigentes los denominados planes de primer ciclo, que fueron aprobados en su mayoría durante el año 2016, si bien, están en revisión dichos planes y se estima que el segundo ciclo se aprobará a finales del año 2021.

(Un resumen del contenido y las principales novedades se pueden consultar en el Resumen ejecutivo de los PGRI de 2º ciclo (2022-2027) en las cuencas intercomunitarias.)

Los objetivos específicos que se persiguen con estos planes son:

- **Incremento de la percepción del riesgo de inundación** y de las estrategias de autoprotección en la población, los agentes sociales y económicos. El éxito de muchas de las medidas propuestas para mejorar las distintas variables que intervienen en el riesgo de inundación pasa por una adecuada divulgación del fenómeno y la mejora de la formación de la sociedad sobre las inundaciones en general y en particular sobre los problemas de inundación a nivel local.
- **Mejorar la coordinación administrativa entre todos los actores involucrados en la gestión del riesgo.** La responsabilidad en la gestión del riesgo de inundación está compartida por todas las administraciones, cada una actuando en una etapa o sobre un aspecto de la gestión del riesgo. La mejora en la coordinación de las mismas es un elemento esencial para la mitigación de estos riesgos.
- **Mejorar el conocimiento para la adecuada gestión del riesgo de inundación.** Este objetivo se refiere a la necesidad de realizar estudios específicos que permitan profundizar en el conocimiento de los mecanismos meteorológicos que generan las inundaciones, la mejora del conocimiento histórico y estadístico, los efectos e influencia del cambio climático y otros posibles estudios a desarrollar en el futuro.

- **Mejorar la capacidad predictiva ante situaciones de avenida e inundaciones.** Este objetivo general va encaminado a la mejora de la coordinación, modernización y optimización de los sistemas ya existentes.
- **Contribuir a mejorar la ordenación del territorio y la gestión de la exposición en las zonas inundables.** Este objetivo se basa fundamentalmente en la búsqueda de una ordenación del territorio y de los usos del suelo en las zonas inundables compatible en la medida de lo posible con el riesgo de inundación, todo ello conforme a la legislación ya vigente en materia de suelo y urbanismo, protección civil, costas, aguas, medio ambiente, etc.
- **Conseguir una reducción del riesgo** a través de la disminución de la peligrosidad para la salud humana, las actividades económicas, el patrimonio cultural y el medio ambiente en las zonas inundables. Este objetivo se basa sobre todo en la optimización de los sistemas de defensa frente a inundaciones existentes, la restauración fluvial y la restauración hidrológico-agroforestal de cuencas, la gestión de los embalses existentes, las labores de conservación de las infraestructuras existentes, las actuaciones de prevención en la costa, etc.
- **Mejorar la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad de los elementos ubicados en las zonas inundables.** Puesto que las inundaciones son fenómenos naturales que no pueden evitarse y que hay que convivir con ellas asumiendo un cierto nivel de riesgo, más aún con los previsible efectos del cambio climático, se prevé la necesidad de mejora de la resiliencia de estos bienes, tales como viviendas, infraestructuras, etc.
- **Contribuir a la mejora o al mantenimiento del buen estado de las masas de agua a través de la mejora de sus condiciones hidromorfológicas** para que estas alcancen su buen estado o buen potencial, tanto en masas de agua continentales, de transición y costeras, incluyendo las muy modificadas, en coordinación con la Directiva Marco del Agua, manteniendo el buen estado allí donde se exista de acuerdo con el Plan Hidrológico de cuenca, a través del conjunto de actuaciones que se han descrito anteriormente.

Los planes tienen los siguientes contenidos:

- a) Las conclusiones de la evaluación preliminar del riesgo de inundación.
- b) Los mapas de peligrosidad y los mapas de riesgo de inundación.
- c) Una descripción de los objetivos de la gestión del riesgo de inundación en la zona concreta a que afectan.
- d) Un resumen de los criterios especificados por el plan hidrológico de cuenca sobre el estado de las masas de agua y los objetivos ambientales fijados para ellas en los tramos con riesgo potencial significativo de inundación.
- e) Un resumen del contenido de los planes de protección civil existentes.

- f) Una descripción de los sistemas y medios disponibles en la cuenca para la obtención de información hidrológica en tiempo real durante los episodios de avenida, así como de los sistemas de predicción y ayuda a las decisiones disponibles.
- g) Un resumen de los programas de medidas, con indicación de las prioridades entre ellos, que cada Administración Pública, en el ámbito de sus competencias, ha aprobado para alcanzar los objetivos previstos. Estos programas de medidas podrán subdividirse en subprogramas en función de los órganos administrativos encargados de su elaboración, aprobación y ejecución.
- h) El conjunto de programas de medidas, formadas estas por medidas preventivas y paliativas, estructurales o no estructurales, deberán contemplar, en lo posible, las siguientes:
 - Medidas de restauración fluvial y medidas para la restauración hidrológico-agroforestal de las cuencas.
 - Medidas de mejora del drenaje de infraestructuras lineales.
 - Medidas de predicción de avenidas.
 - Medidas de protección civil.
 - Medidas de ordenación territorial y urbanismo.
 - Medidas consideradas para promocionar los seguros frente a inundación sobre personas y bienes y, en especial, los seguros agrarios.
 - Medidas estructurales planteadas y los estudios coste-beneficio que las justifican, así como las posibles medidas de inundación controlada de terrenos

Las principales conclusiones que se han extraídos del primer ciclo de planificación son:

- **Implicación de todos los sectores de la sociedad.** Se requiere incrementar la conciencia del riesgo de inundación y el fomento de la autoprotección, adaptación y preparación ante el riesgo de inundación, que en gran parte de las ocasiones no está aún asumida por determinados sectores de la sociedad.
- **Cartografía de zonas inundables.** Se ha constatado la utilidad de esta herramienta que limita los usos del suelo en las zonas inundables y que ha sido clave para evitar un incremento del riesgo de inundación.
- **Colaboración y coordinación con las autoridades de Protección Civil,** si bien se ha realizado un importante esfuerzo durante el primer ciclo, es necesario dar un nuevo impulso a los trabajos derivados de los contenidos de la nueva Ley del Sistema Nacional de Protección Civil, creando e implantando dentro de la Red Nacional de Información las alertas hidrológicas de las distintas cuencas hidrográficas y realizar una evolución tecnológica de los sistemas de seguimiento hidrológico y de apoyo a la decisión.

- **Conservación y mantenimiento de cauces.** Durante el primer ciclo se ha realizado una fuerte inversión, se ha aprobado la Instrucción del Secretario de Estado de Medio Ambiente que establece las condiciones para las actuaciones, se ha publicado la guía de buenas prácticas en materia de conservación de cauces que debe guiar las nuevas actuaciones que deben someterse también a una evaluación de su funcionalidad para garantizar una optimización de los presupuestos disponibles.
- **Actuaciones estructurales.** Se han estudiado durante el primer ciclo con profundidad 30 actuaciones que han permitido seleccionar y optimizar las alternativas previstas que se irán poniendo en marcha durante este segundo ciclo a la vez que se realizan nuevos estudios de nuevas posibles actuaciones.
- **Restauración fluvial.** Durante el primer ciclo se han desarrollado importantes proyectos que han mostrado como es compatible incrementar los valores ambientales de los ríos a la vez que se mitiga el impacto de las inundaciones. En este segundo ciclo es necesario desarrollar nuevos proyectos y mejorar el seguimiento de los mismos.

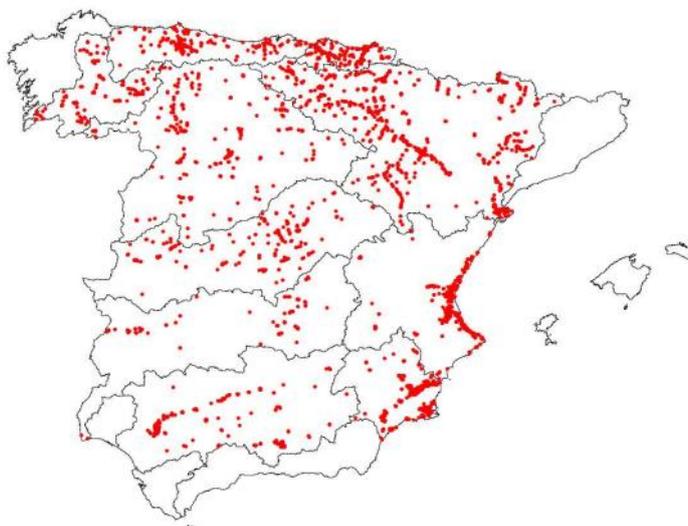
A continuación se destacan las principales medidas se están aplicando o planteando y que están colaborando en la reducción del riesgo:

Mejora del conocimiento

La elaboración de los **mapas de peligrosidad y riesgo de inundación** (cálculo de la zona inundable) y del riesgo de inundación (incorporación a la zona inundable de los usos del suelo en esa zona y de los principales daños esperados) que muestran el riesgo de inundación y la población potencialmente afectada ha dado lugar, entre otros resultados, a la categorización y selección de puntos de especial importancia en coordinación con protección civil (véase Figura 16).

Estos mapas están disponibles en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/>), cuyo visor sirve de apoyo a los organismos de cuenca en la emisión de informes sobre autorizaciones en el Dominio Público Hidráulico (DPH) y zona de policía, en la gestión de avenidas en conexión con el S.A.I.H. ([Sistema Automático de Información Hidrológica](#)) y en la planificación de las actuaciones de defensa frente a inundaciones; agiliza la planificación y gestión de inundaciones por los servicios de Protección Civil; facilita la transmisión de información sobre zonas inundables a las administraciones competentes en planificación territorial y empresas promotoras; y permite a los ciudadanos conocer la peligrosidad de una zona determinada.

TIPOS	SUBTIPOS
SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bomberos ▪ Policía ▪ Guardia Civil
SANIDAD	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hospital
EDUCACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Educación Infantil ▪ Escuelas ▪ Educación especial ▪ Campus
RESIDENCIAL ESPECIAL	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Residencia de ancianos ▪ Centro penitenciario ▪ Camping
CONCURRENCIA PÚBLICA DESTACADA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Centro comercial ▪ Instalación deportiva ▪ Centro de ocio ▪ Centro religioso
SERVICIOS BÁSICOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energía ▪ Agua
TRANSPORTE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estación de autobús o ferrocarril ▪ Puerto ▪ Aeropuerto
INDUSTRIA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nuclear ▪ Radiactiva ▪ Química SEVESO



Más de 5600 puntos identificados

Figura 16: Puntos de especial importancia identificados.

También se ha mejorado el **programa de modelización hidráulica IBER** mediante el impulso de técnicas de teledetección, el uso de datos de eventos de inundación obtenidos a través de la ciencia ciudadana y el mantenimiento y fomento de un grupo I+D+i en inundaciones.

Por último, pero no menos importante, se ha incluido la dimensión del **cambio climático en los planes de gestión del riesgo de inundación**. Para estimar la influencia del cambio climático en el riesgo de inundación, se utiliza el siguiente esquema metodológico:

Tabla 6: Esquema metodológico para estimar la influencia del cambio climático en el riesgo de inundación.

	TIPO DE COMPONENTE	PONDERACIÓN
COMPONENTE METEOROLÓGICA	Tasas de cambio precipitación CEDEX (escenarios RCP 4.5 y 8.5)	0.8
	Cambios en el régimen nival	0.2
COMPONENTE USOS DE SUELO	Cambios usos de suelo	0.1
	Tasas de incendios forestales	0.3
	Porcentaje superficie impermeabilizada	0.1
	Tasas de erosión de suelo	0.5

Valoración de los efectos del cambio climático en el riesgo de inundación:

- Periodos de retorno 10 años, 100 años, 500 años
- Escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5
- Unidad Espacial: subcuencas Pfafstetter

Entre las zonas y subcuencas cuyo riesgo probablemente incrementará destacan:

- la cuenca del Ebro y del Alto Guadiana
- los grandes núcleos de poblaciones
- las zonas de invernaderos del sur
- la heterogeneidad urbanística de Galicia y País Vasco y
- la zona del Bajo Segura.

A modo de resumen, se puede concluir que es importante destacar el grado de incertidumbre asociado a los escenarios de cambio climático, siendo necesario mejorar la metodología del cálculo de la influencia del cambio climático. Asimismo, tanto en las Islas Canarias, las Islas Baleares, como en Ceuta y Melilla no ha sido posible aplicar esta metodología por no disponer de datos, por lo que es necesaria la ampliación de los estudios Baleares, Ceuta y Melilla y la realización de estudios específicos en Canarias, la inclusión de los datos actualizados de precipitaciones máximas y caudales máximos (estudio en ejecución), y el análisis de eventos extremos con evidencias sedimentarias y botánicas.

Divulgación y concienciación

Se ha elaborado la Estrategia Nacional de Comunicación frente al riesgo de inundación y adaptación al cambio climático. En esta línea va el desarrollo de la App infoAGUA que informa sobre el riesgo de inundación, y sobre la cantidad y la calidad de los recursos hídricos.

Programas de adaptación al riesgo de inundación

Se han elaborado mapas de riesgo para los puntos de especial importancia para adaptar a las instalaciones: actualmente están en ejecución estudios en 21 equipamientos urbanos, edificaciones y zonas urbanas, 5 instalaciones industriales y 10 edificaciones e instalaciones en la ribera del Júcar.

También se están desarrollando programas específicos de adaptación al riesgo de inundación en los sectores clave identificados. Se han elaborado las siguientes guías metodológicas:

- [Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones](#)
- [Recomendaciones para la construcción y rehabilitación de edificaciones en zonas inundables](#)
- [Evaluación de la resiliencia de los núcleos urbanos frente al riesgo de inundación: Redes, sistemas urbanos y otras infraestructuras](#)
- [Guías de adaptación al riesgo de inundación: explotaciones agrícolas y ganaderas](#)
- [Guías de adaptación al riesgo de inundación: sistemas urbanos de drenaje sostenible](#)

Además, se están realizando estudios piloto de adaptación en 18 equipamientos urbanos y edificaciones, 6 instalaciones e industrias, 11 explotaciones agrícolas y ganaderas en diferentes CCHH, 100 explotaciones agrícolas y ganaderas en el Eje medio del Ebro. Mediante estos estudios se caracteriza el riesgo a través de la recopilación de información sobre eventos previos, el análisis de la cartografía de zonas inundables y la visita y entrevista de técnicos y gestores. La vulnerabilidad se diagnostica mediante la identificación y valorización de los daños por inundación en situación actual para distintas avenidas. Después de haber identificado y valorado los daños por inundación y realizado un análisis coste-beneficio de las alternativas, se proponen las medidas de adaptación.

Mejora de la información meteorológica

Para mejorar la información meteorológica es necesario, mejorar la red de observación meteorológica de AEMET mediante renovando los radares banda C, instalando radares banda X, implementando 200 estaciones meteorológicas automáticas nuevas y un nuevo centro de operación de radares.

Gestión de avisos hidrológicos

Se implantará una Red de Alerta Nacional para gestionar los avisos hidrológicos. Estos tendrán diferentes niveles de alerta según umbrales marcados en las estaciones de aforo. También está prevista la modernización de las redes de control hidrológica y de los sistemas de ayuda a la decisión.

El Sistema Automático de Información Hidrológica (SAI CHC) proporciona los datos sobre los niveles de las aguas, los caudales circulantes, las lluvias registradas y las temperaturas recogidas en las estaciones de control en tiempo real (<https://www.chcantabrico.es/web/guest/sai-sistema-automatico-de-informacion>).

Además, se realizan estudios de coste-beneficio para actuaciones en 60 obras estructurales, de las cuales 30 ya han sido analizadas. Estos estudios incluyen:

1. **Análisis de reducción del riesgo de inundación.** Se elaboran modelos hidráulicos, que se calibran con los eventos de inundación, para realizar mapas de peligrosidad y riesgo para el escenario actual y alternativas.
2. **Estudio coste beneficio.** Para el estudio coste beneficio se estiman los daños (mediante el análisis de usos de suelo y calados medios en cada zona, el valor catastral de la zona y las curvas de calado/daño por uso), se analiza el coste de la obra en cada alternativa (incluyendo expropiaciones y mantenimiento) y los beneficios que se generan.
3. **Efectos sobre las masas de agua.** Para calcular estos impactos, se aplican los protocolos hidromorfológicos sobre la afección a masas de agua superficiales, subterráneas y zonas protegidas.

4. Posible impacto ambiental

5. **Viabilidad social.** Para que un proyecto sea socialmente viable, es necesaria la disponibilidad de los terrenos, un análisis de la aceptación social y encuestas a agentes interesados.
6. **Valoración impacto cambio climático.** Al final del proceso solo se ejecutarían aquellas obras cuyo estudio de viabilidad y coste-beneficio es favorable y que son compatibles con los objetivos ambientales de los Planes Hidrológicos de Cuenca.

Inventario de obras longitudinales

Se ha hecho un inventario de las obras longitudinales en las cuencas hidrográficas. Se han identificado 14.500 obras de defensa en 13.500 km de cauce, la mayoría de ellos motas (Figura 17) cuya función mayoritariamente es la defensa de cultivos agrícolas (Figura 18). Además, se ha elaborado un manual técnico de gestión para estas obras. Cabe destacar que la mitad de las motas y diques estudiados están sin funcionalidad o con baja defensa frente a las inundaciones y el cambio climático.



Figura 17: Tipología de las obras longitudinales.

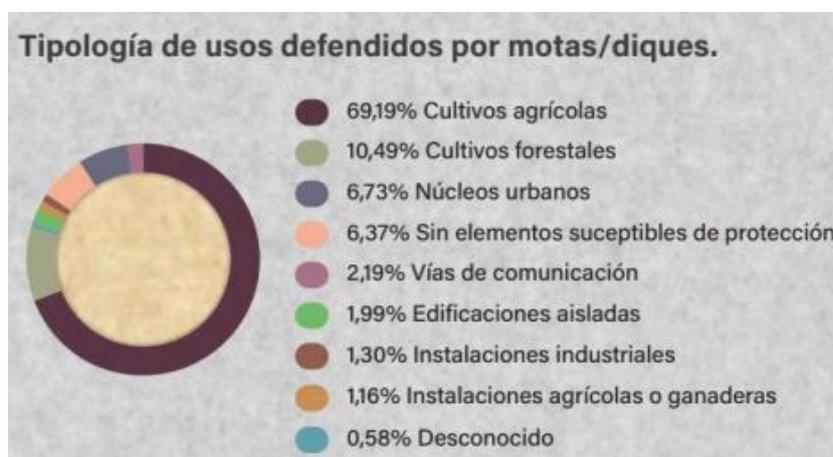


Figura 18: Tipologías de usos de suelo defendidos.

Conservación y mantenimiento de cauces

Se ha elaborado una guía de [Buenas prácticas en actuaciones de conservación mantenimiento y mejora de cauces](#).

Programa de continuidad de sedimentos

Este programa pretende mejorar el conocimiento de las alteraciones en la dinámica sedimentaria y los desequilibrios geomorfológicos para identificar las zonas prioritarias y aplicar medidas apropiadas.

Infraestructura verde

Se han realizado actuaciones de recuperación ambiental y protección frente a las inundaciones. Ejemplos de este tipo de labores son el [río Palancia](#) y el proyecto [Ebro Resilience](#).

3.3.3. Conclusiones

La continua mejora del conocimiento sobre el riesgo de inundación y la compatibilidad con la planificación hidrológica son esenciales para abordar con éxito la reducción de los daños que producen las inundaciones.

Este mayor conocimiento está permitiendo una mejora sustancial de la cartografía de peligrosidad y riesgo, esencial como instrumento preventivo para ordenar el territorio y como herramienta de concienciación para la población.

El éxito de las medidas que se contemplan en el PGRI requiere una Estrategia nacional de comunicación frente al riesgo de inundación y adaptación al cambio climático que mejore la percepción del riesgo y las estrategias de autoprotección.

El desarrollo de programas de adaptación al riesgo de inundación de los elementos vulnerables es una de las medidas más eficaces, y en ocasiones la única posible, máxime en un contexto de cambio climático.

Las soluciones basadas en la naturaleza, restauración fluvial, infraestructuras verdes han demostrado ser soluciones altamente eficaces en la protección frente a inundaciones, de forma compatible con la mejora del estado de los ríos. Estas actuaciones se refuerzan con actuaciones estructurales de protección, fundamentalmente de núcleos urbanos e infraestructuras que afectan a la seguridad y están avaladas por estudios de coste beneficio.

La mejora de la capacidad predictiva mediante la evolución tecnológica de las redes de información meteorológica e hidrológica, junto con el establecimiento de protocolos de comunicación y alerta en situación de avenida en coordinación con las autoridades de Protección Civil es una de las prioridades de este ciclo.

3.4. Políticas de Adaptación al Cambio Climático: PNACC 2021-2030

María Salazar Guerra

Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

Los peligros derivados del cambio climático en nuestros ríos y costas exigen dar respuestas a través de políticas y acciones de adaptación que contribuyan a reducir el riesgo presente y futuro y a construir una sociedad resiliente frente al cambio climático.

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)³⁴ constituye el instrumento de planificación básico para promover la acción coordinada y coherente, desde una perspectiva transversal, multilateral (desde distintos sectores) y multinivel (diferentes escalas territoriales), de medidas para hacer frente a los riesgos y amenazas que presenta el cambio climático en los diferentes ámbitos de la sociedad.

Tras una evaluación en profundidad del primer plan, aprobado en 2006 y considerado pionero en Europa, en septiembre de 2020 fue aprobado el segundo PNACC para el periodo 2021-2030, con el principal objetivo de establecer una hoja de ruta que dé respuesta a las crecientes necesidades de adaptación al cambio climático en España, con el fin último de evitar o reducir los riesgos económicos, sociales y ecológicos y favorecer una mejor preparación para la recuperación tras los impactos.

El nuevo PNACC incorpora los nuevos compromisos internacionales y contempla el conocimiento más reciente sobre los riesgos derivados del cambio climático, aprovechando la experiencia obtenida en el desarrollo del primer plan.

Sin perjuicio de las competencias que corresponden a las diversas administraciones públicas, el PNACC 2021-2030 define objetivos, criterios, ámbitos de trabajo y líneas de acción para construir resiliencia, anticipar y minimizar daños, y definir las orientaciones para los sectores y la sociedad.

En concreto, define y describe 81 líneas de acción a desarrollar en los diferentes sistemas naturales y sectores socioeconómicos del país, organizadas en 18 ámbitos de trabajo. Además, el plan propone otras 7 líneas de acción complementarias para que sean integradas de forma transversal a todos los ámbitos, como la vulnerabilidad entre territorios y entre grupos sociales, la atención a efectos transfronterizos, o la prevención de la maladaptación, entre otros.

³⁴ Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico>

La diversidad de líneas refleja la variedad de niveles de desarrollo de la adaptación en los ámbitos de trabajo correspondientes, así como las percepciones y sistemas de gobernanza existentes en cada ámbito.

Los ámbitos de trabajo definidos responden a necesidades de carácter operativo, no siendo compartimentos estancos a la hora de dar respuesta a los riesgos identificados. De hecho, la gestión de los riesgos derivados del cambio climático se realiza, de forma complementaria, desde diferentes ámbitos de trabajo y líneas de acción.

En este sentido, la adaptación al cambio climático en la gestión de los ríos y las costas se aborda principalmente desde los ámbitos de trabajo de Agua y recursos hídricos, y Costas y medio marino. No obstante, por las razones antes mencionadas, existen múltiples interrelaciones con otros ámbitos como: Reducción del riesgo de desastres; Clima y escenarios climáticos; Sistema financiero y actividad aseguradora; Ciudad, urbanismo y edificación; Educación y sociedad; Agricultura, ganadería, pesca y alimentación; o Energía, entre otros.

Para cada uno de ellos, el Plan Nacional de Adaptación define objetivos específicos y líneas de acción, que configuran la hoja de ruta a seguir en los próximos años. A continuación, se resumen las principales acciones que, en materia de adaptación al cambio climático y en el ámbito de la gestión de los ríos y las costas, pretenden desarrollarse en el marco del PNACC.

3.4.1. Agua y recursos hídricos

Los **objetivos específicos** que se definen en el ámbito de trabajo Agua y recursos hídricos son:

- Evaluar los impactos y riesgos ecológicos, sociales y económicos derivados de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos y los ecosistemas acuáticos asociados.
- Profundizar en la integración del cambio climático en la planificación hidrológica y la gestión del ciclo integral del agua, dando especial prioridad a la gestión de eventos extremos (sequías e inundaciones).
- Reducir el riesgo, promoviendo prácticas de adaptación sostenibles, que persigan objetivos múltiples, en materia de uso y gestión del agua, así como sobre los eventos extremos.
- Reforzar la recogida de parámetros clave para el seguimiento de los impactos del cambio climático en el ciclo hidrológico, uso del agua y eventos extremos.
- Para hacer efectiva la consecución de estos objetivos, se articulan diferentes líneas de acción que se describen a continuación.

Los efectos del cambio climático se extienden más allá de la disponibilidad de recursos hídricos, afectando a otros aspectos relevantes de la gestión del agua, como son los usos a los

que se destina, su calidad y la de los ecosistemas dependientes, o la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos, debiendo ser considerados todos ellos en la planificación y gestión hidrológica.

Por ello, como primer paso, se procederá a la **ampliación y actualización del conocimiento sobre los impactos potenciales del cambio climático en la gestión del agua y los recursos hídricos**. En los próximos años, se impulsará el desarrollo y actualización de estudios que evalúen los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos, los eventos extremos (sequías e inundaciones), los usos del agua y el estado de las masas de agua y de los ecosistemas acuáticos asociados, conforme a los últimos modelos climáticos y escenarios disponibles.

Estos trabajos permitirán profundizar en la **integración de la adaptación al cambio climático en la planificación hidrológica y la gestión del ciclo integral del agua**. Los planes hidrológicos de cuenca elaborarán una evaluación de los riesgos climáticos para cada demarcación hidrográfica que, deberá contener al menos, una estimación del riesgo a medio plazo para las garantías hídricas, los objetivos medioambientales y la seguridad de las infraestructuras hidráulicas.

En base a los resultados de dicha evaluación, se definirán objetivos a largo plazo para la reducción del riesgo y se desarrollará una estrategia de adaptación a nivel de demarcación que incorpore medidas de adaptación anticipadas, planificadas, coordinadas y contingentes, encaminadas al cumplimiento de dichos objetivos.

En concreto, tanto la evaluación de riesgos derivados del cambio climático, como la estrategia de adaptación a largo plazo para cada demarcación se establecen como objetivo para los planes hidrológicos de cuenca de cuarto ciclo planificación (2027-2033).

Por otro lado, el previsible incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos exige asimismo una **gestión coordinada y contingente de los riesgos por sequías e inundaciones**, de forma integrada en la planificación hidrológica y gestión del agua. Debe garantizarse la plena coordinación entre los diferentes instrumentos de planificación: planes hidrológicos de cuenca, planes especiales de sequía y planes de gestión del riesgo de inundación.

Es fundamental el refuerzo del papel de los planes hidrológicos en la gestión de la sequía estructural, promoviendo medidas de adaptación contingentes a largo plazo que ofrezcan márgenes y capacidad de respuesta necesarios para hacer frente a estos episodios, reduciendo así los impactos asociados.

Por su parte, los planes de gestión del riesgo de inundación integrarán los estudios actualizados de evaluación de los efectos del cambio climático sobre las inundaciones, lo que permitirá avanzar en una evaluación más exhaustiva de los riesgos y en la definición de estrategias de adaptación planificadas y contingentes.

Como se ha mencionado, los impactos y riesgos asociados a los recursos hídricos por efecto del cambio climático van más allá de la disponibilidad de agua en cantidad y calidad

suficiente, debiendo abordar la gestión del recurso desde una visión holística e integradora. En este sentido, dentro de las estrategias de adaptación desarrolladas a nivel de cuenca en respuesta a la reducción de riesgos frente al cambio climático, deberán priorizarse **actuaciones de mejora del estado de las masas de agua y de los ecosistemas acuáticos, con especial incidencia en la protección de las aguas subterráneas.**

Complementariamente, **el seguimiento y la mejora del conocimiento sobre los efectos observables del cambio climático en las masas de agua y sus usos** constituyen un elemento imprescindible para anticiparnos a los impactos del cambio climático. Por ello, se deben redoblar esfuerzos para disponer de un sistema de información hidrológica actualizado y de datos de observación sistemática de los efectos del cambio climático sobre las masas de agua.

3.4.2. Costas y medio marino

En lo que respecta al ámbito de Costas y medio marino, el PNACC define los siguientes **objetivos específicos:**

- Desarrollar herramientas para el análisis de riesgos y la definición de iniciativas de adaptación en la costa y el mar.
- Desarrollar iniciativas de adaptación y promover las soluciones basadas en la naturaleza para la estabilización y la protección de la línea de costa frente a los riesgos climáticos.
- Fomentar la toma en consideración de los riesgos costeros asociados al clima en la planificación territorial, de infraestructuras y urbanística en zonas de costa.
- Incorporar criterios de adaptación al cambio climático a la planificación y la gestión de las áreas marinas protegidas.

Las **líneas de acción** propuestas para alcanzar estos objetivos se describen a continuación.

Al igual que sucede en el ámbito de Agua y recursos hídricos, en Costas y medio marino se apuesta por el impulso al **desarrollo de herramientas para el análisis de riesgos y la definición de iniciativas de adaptación en la costa y el mar.** Se trata de poner a disposición de los sectores públicos y privados competentes los instrumentos necesarios para la evaluación de los riesgos derivados del cambio climático y la implementación de medidas de adaptación.

Entre las acciones previstas destacan la actualización periódica de las proyecciones climáticas para la costa española y el visor de escenarios C3E, la elaboración de guías metodológicas y el apoyo a las administraciones competentes en la elaboración de informes de riesgo y planes de adaptación.

Adicionalmente, se promueve el estudio y propuesta de **cambios en el marco normativo para facilitar la adaptación en las costas y el mar,** que permitan por ejemplo flexibilizar el

otorgamiento de títulos de ocupación, limitando o reduciendo plazos, o agilizando su revisión por causa del cambio climático, eliminando barreras para la adaptación.

Con objeto de transversalizar el componente de cambio climático en la planificación sectorial, se impulsa **la integración de los riesgos costeros en planes y programas que incluyen al espacio litoral**.

Por un lado, esta línea de acción se orienta a la producción de planes de adaptación al cambio climático en elementos clave del litoral, como los puertos de titularidad estatal y los espacios del Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT) adscritos a las comunidades autónomas o puertos transferidos a éstas. Por otro, se pretende favorecer la consideración de los riesgos derivados del cambio climático (ascenso del nivel del mar, temporales marítimos) en la planificación que afecta a los territorios costeros, como los planes de ordenación territorial, los planes generales de ordenación urbana o los planes de ordenación del espacio marítimo.

Como continuación a los trabajos de evaluación de riesgos, se pretende favorecer el **desarrollo de iniciativas de adaptación en el DPMT y espacios conexos**, mediante la identificación, planificación y desarrollo de proyectos. Algunas de las intervenciones que se procura impulsar son, entre otras: restauraciones ambientales de espacios naturales costeros (playas, sistemas dunares y marismas); demolición de elementos artificiales vulnerables; intervenciones para aumentar la resiliencia de infraestructuras en riesgo; reubicación de edificaciones o cambios en los planes urbanísticos que eviten la construcción de instalaciones en zonas inadecuadas.

La última línea de acción se orienta a la generación de instrumentos de gobernanza y colaboración que faciliten la **coordinación institucional y la participación social para la adaptación en la costa y el mar**, a través del apoyo a iniciativas de divulgación y ciencia ciudadana o la potenciación de diversos grupos de trabajo, entre otros.

3.4.3. Otras líneas de acción del PNACC

Tal y como se ha mencionado con anterioridad, los ámbitos de trabajo definidos en el PNACC poseen evidentes interrelaciones, razón por la cual es necesario reforzar la coordinación entre políticas sectoriales con objeto de alcanzar la máxima coherencia en la aplicación de medidas de adaptación frente al cambio climático. A continuación, se resaltan aquellas líneas de acción integradas en otros ámbitos de trabajo que guardan relación con la gestión de riesgos en ríos y costas.

En **clima y escenarios climáticos**, se apuesta por el refuerzo de la *observación meteorológica para la alerta temprana y los servicios de avisos de fenómenos meteorológicos y climáticos adversos*. Estas herramientas constituyen una medida fundamental de adaptación en el contexto del cambio climático, ya que buscan habilitar a las personas y las comunidades para que respondan oportuna y adecuadamente a los peligros y así reducir el riesgo de daños.

Con el objeto de alimentar las evaluaciones de riesgos, desde este ámbito se promoverá también la *actualización de las proyecciones de cambio climático regionalizadas para España*, utilizando los escenarios y modelos generales empleados en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6) y su puesta a libre disposición. Asimismo, el *visor de escenarios de cambio climático* disponible en la plataforma AdapteCCa³⁵ estará operativo y actualizado.

En línea con lo anterior, desde el ámbito de **reducción del riesgo de desastres**, se apoya y refuerza la preparación ante el riesgo de desastres climáticos, a través de la *observación, la alerta temprana, la comunicación y la educación con criterios adaptativos*. También el *refuerzo de los sistemas de autoprotección en comunidades de riesgo o comunidades de adaptación* contribuirá en la capacitación de grupos de población especialmente vulnerables para que puedan participar activamente en los procesos colectivos de prevención y gestión del riesgo. Esta línea de acción se aborda también desde el ámbito de **educación y sociedad**.

El **sistema financiero y la actividad aseguradora** juegan también un papel clave en la gestión de riesgos en ríos y costas. Los seguros constituyen una herramienta clave para la adaptación de diferentes ámbitos socioeconómicos, pero a la vez pueden aportar *incentivos para la prevención de riesgos mediante la integración de la adaptación en la actividad aseguradora* y sus políticas, así como en otros instrumentos financieros alternativos. El sector asegurador puede ser una valiosa fuente de datos de siniestralidad, pero además tiene potencial para implicarse de un modo más proactivo en la reducción de sus riesgos, fomentando las medidas de autoprotección por parte de los asegurados o la reconstrucción resiliente (*build-back-better*).

En el ámbito de la **ciudad, urbanismo y edificación**, es un hecho que las inundaciones se ven favorecidas por las amplias superficies impermeables, que impiden la infiltración y favorecen la escorrentía. Además, la localización de una parte sustancial de los espacios urbanos en la línea de costa, los expone de forma especial a los efectos del ascenso del nivel del mar y los eventos extremos costeros.

Por ello, desde este ámbito de trabajo se promueve la *integración de la adaptación al cambio climático en la planificación territorial y urbana*, de manera que se dé respuesta a la prevención frente a estos riesgos, a través por ejemplo de la creación de zonas inundables, restauración de tramos urbanos de ríos, utilización de pavimentos o sistemas de drenaje urbano. Una planificación urbana que fomenta la infraestructura verde y las soluciones basadas en la naturaleza, aumenta la resiliencia de la ciudad y consigue numerosos cobeneficios, como la mejora de la calidad del aire, la biodiversidad, la salud y la calidad de vida para la ciudadanía.

Desde otros ámbitos como la **biodiversidad, el sector forestal, la agricultura o la energía**, se configuran otras muchas líneas de actuación que impulsan la adaptación mediante soluciones basadas en la naturaleza, prevención de la desertificación, uso eficiente de los recursos hídricos y de la energía y, en definitiva, el fomento de prácticas que promueven una mayor resiliencia a los impactos.

³⁵ Plataforma de intercambio sobre impactos y adaptación AdapteCCa: <https://www.adaptecca.es/>

4. Soluciones ante los riesgos climáticos en ríos y costas

4.1. Percepción del riesgo y estrategias de autoprotección

4.1.1. Desarrollo de programas piloto de adaptación al riesgo de inundación y de fomento de la consciencia del riesgo de inundación en los diversos sectores económicos

Aránzazu Gurrea-Nozaleda Merayo

Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

Introducción

Las medidas a desarrollar en el presente apartado pueden entenderse aunadas bajo el concepto de resiliencia, entendida ésta como la capacidad de la adaptación de la sociedad o los ecosistemas a los riesgos que puedan soportar.

Así mismo, esta adaptación frente al riesgo de inundación se concibe como el conjunto de actuaciones vinculadas con la reducción de la vulnerabilidad de elementos expuestos al riesgo de inundación, tales como edificaciones, instalaciones o infraestructuras, con objeto de reducir el impacto y las consecuencias adversas que las inundaciones conllevan.

Se hace necesario impulsar por parte de todas las administraciones implicadas, diversas medidas que fomenten la conciencia de la inevitable convivencia con estos fenómenos extremos y la necesidad de recurrir a la autoprotección, entendida como una medida complementaria a las medidas estructurales tradicionales, que, si bien pueden minimizar las consecuencias, no garantizan el riesgo cero.

Son los planes de gestión del riesgo de inundación la herramienta fundamental de la Directiva de Inundaciones en la que se enmarca la actuación coordinada de todas las administraciones públicas y la sociedad en la implantación de las actuaciones que se exponen a continuación.

Las guías de adaptación como herramienta

En este contexto y como punto de partida, en el marco del primer ciclo de implantación de la Directiva 2007/60 de evaluación y gestión de los riesgos de inundación, la Dirección General del Agua en colaboración con el Consorcio de Compensación de Seguros, publica en el año 2017, la *“Guía para la Reducción de la Vulnerabilidad de Edificios frente a Inundaciones”*. El objetivo fundamental de la guía no es otro que orientar desde un punto de vista práctico, a

los propietarios, usuarios o responsables de edificios de diversa índole en la reducción del riesgo, a través de la recomendación de pautas y soluciones que puedan acometerse para minimizar los daños ocasionados por las inundaciones.

Complementariamente y ante la necesidad de proporcionar pautas particularizadas a las diferentes tipologías de instalaciones, servicios o bienes de los distintos sectores económicos, se publican las siguientes guías:

- **“Evaluación de la resiliencia de los núcleos urbanos frente al riesgo de inundación: redes, sistemas urbanos y otras infraestructuras. (2019)”**: Guía orientada a conocer los daños directos e indirectos que una inundación puede causar en una ciudad y en su entorno, de formas que se pueda mejorar la resiliencia de la ciudad y de todos los servicios (electricidad, comunicaciones, suministro, abastecimiento o saneamiento)
- **“Recomendaciones para la construcción y rehabilitación de edificaciones en zonas inundables (2019)”**: Guía orientada a exponer los distintos criterios y recomendaciones tanto para nuevas edificaciones en zona inundable como para las ya existentes.

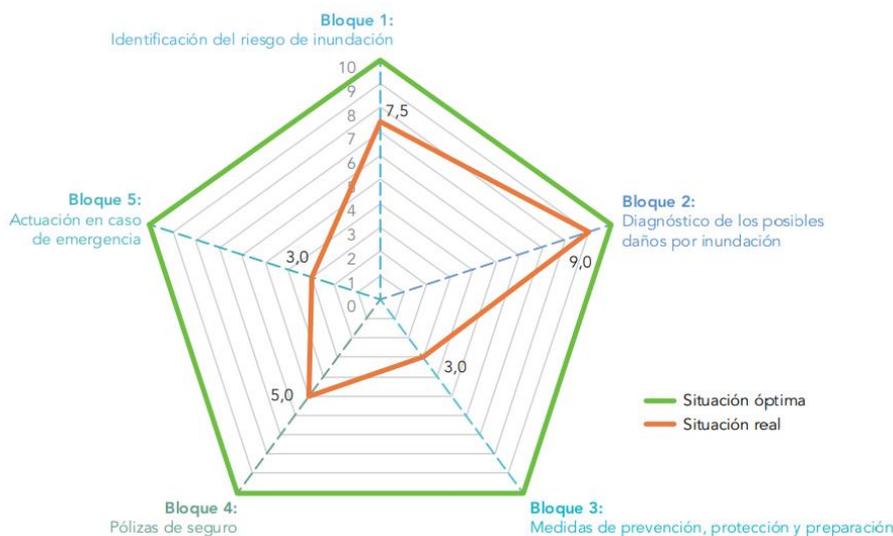


Figura 19: Ejemplo de hexágono de autochequeo de una explotación agraria o agropecuaria frente al riesgo de inundación conforme a la metodología expuesta en la guía

- **“Guías de adaptación al riesgo de inundación: sistemas urbanos de drenaje sostenible (2019)”**: Guía orientada a profundizar en las causas y consecuencias de las inundaciones a nivel urbano, dando a conocer las diferentes estrategias de implantación de los SUDS, criterios de diseño y mantenimiento.
- **“Guías de adaptación al riesgo de inundación: Explotaciones agrícolas y ganaderas (2019)”**: Guía orientada a divulgar los riesgos de inundación en entornos agrícolas y ganaderos con metodologías concretas para valorar los daños y riesgos y plantear

soluciones, orientada para propietarios, gestores y trabajadores de explotaciones agrarias.

Casos piloto de adaptación. Los primeros pasos

Con objeto de poner en práctica estas guías, a lo largo de los años 2019 y 2020 se desarrollan los primeros casos piloto de adaptación al riesgo de inundación distribuidos en todo el territorio nacional y abarcando diferentes tipologías y usos. Estos son:

- Fraga (Huesca): Resiliencia Urbana
- Cuenca: Hospital-Residencia
- Cebolla (Toledo): Ayuntamiento
- Gijón: Escuela politécnica
- Ampuero (Cantabria): Polígono industrial
- Santa María de Huerta (Soria): Patrimonio cultural
- Logroño: Complejo Deportivo
- Los Alcázares (Murcia): Ayuntamiento, Instituto, Viviendas unifamiliares.



Figura 20: Primeros casos piloto de adaptación al riesgo de inundación elaborados por la Dirección General del Agua en colaboración con Tragsatec

En todos ellos, siguiendo la metodología planteada en las guías, se ha procedido a elaborar un diagnóstico de la problemática asociada a su inundabilidad y aspectos constructivos, para poder desarrollar una propuesta de intervención en base a cuatro líneas estratégicas de acción: evitar que el agua alcance el edificio; resistir la entrada de agua, una vez ha llegado al exterior; tolerar la entrada de agua, tomando medidas para minimizar los daños o incluso retirar el uso cuando el riesgo es demasiado elevado. Una vez planteadas las diferentes alternativas, se ha procedido a estimar la valoración económica de los daños que dejan de

producirse tanto en el continente como en el contenido, como los costes de las medidas a aplicar, obteniendo así una ratio beneficio/coste que determine la viabilidad desde el punto de vista económico de las actuaciones.

Los diez casos piloto evidencian una relación beneficio/coste muy favorable, lo que demuestra que pequeñas inversiones, ejecutadas en corto espacio de tiempo consiguen minimizar enormemente el riesgo y reducir el futuro coste de los daños que pueden llegar a producirse en episodios de inundación.

Casos piloto de adaptación. Cuenca. Un caso de éxito.

Uno de los primeros proyectos desarrollados por la Dirección General del Agua, en este caso con la Confederación Hidrográfica del Júcar, fue el *“Proyecto de disminución del riesgo de inundación y mejora del estado ecológico de los ríos Júcar y Moscas a su paso por Cuenca”*, que planteaba de manera integrada, medidas de adaptación frente al riesgo de inundación de un complejo hospitalario y residencia de ancianos, situados en un meandro del río Júcar, en la ciudad de Cuenca, los cuales se ven afectados por las crecidas ocasionadas en la confluencia de los ríos Moscas y Júcar.

La propuesta de intervención, orientada a aumentar el espacio fluvial del río, con el retranqueo de la mota existente de protección desde su ubicación primitiva junto al río hasta el pie del hospital, la naturalización de la margen derecha y la autoprotección del edificio, basada en la mejora de los cerramientos, protección de equipos tales como el depósito de oxígeno, instalación de barreras de contención, por ejemplo en las rampas de garaje o la protección perimetral de las rejillas de ventilación, es un claro ejemplo de acción coordinada y un caso de éxito. Así lo evidencian las últimas crecidas en la zona acontecidas en diciembre de 2019 o en febrero de 2021 en las cuales las instalaciones no se vieron afectadas.

Casos piloto de adaptación. Trabajos en marcha

Con objeto de dar continuidad a estos trabajos, y extender las metodologías aplicadas a los diferentes sectores económicos, se licita por parte de la Dirección General del Agua el Contrato de Servicios *“PLAN PIMA ADAPTA. Desarrollo de Programas Piloto de Adaptación al Riesgo de Inundación y de Fomento de la Consciencia del Riesgo de Inundación en diversos sectores económicos”*, en marcha desde el año 2020 y dividido en tres lotes que permiten profundizar en cada uno de los sectores: Agricultura y ganadera, Instalaciones e industrias, Equipamientos urbanos y edificaciones.

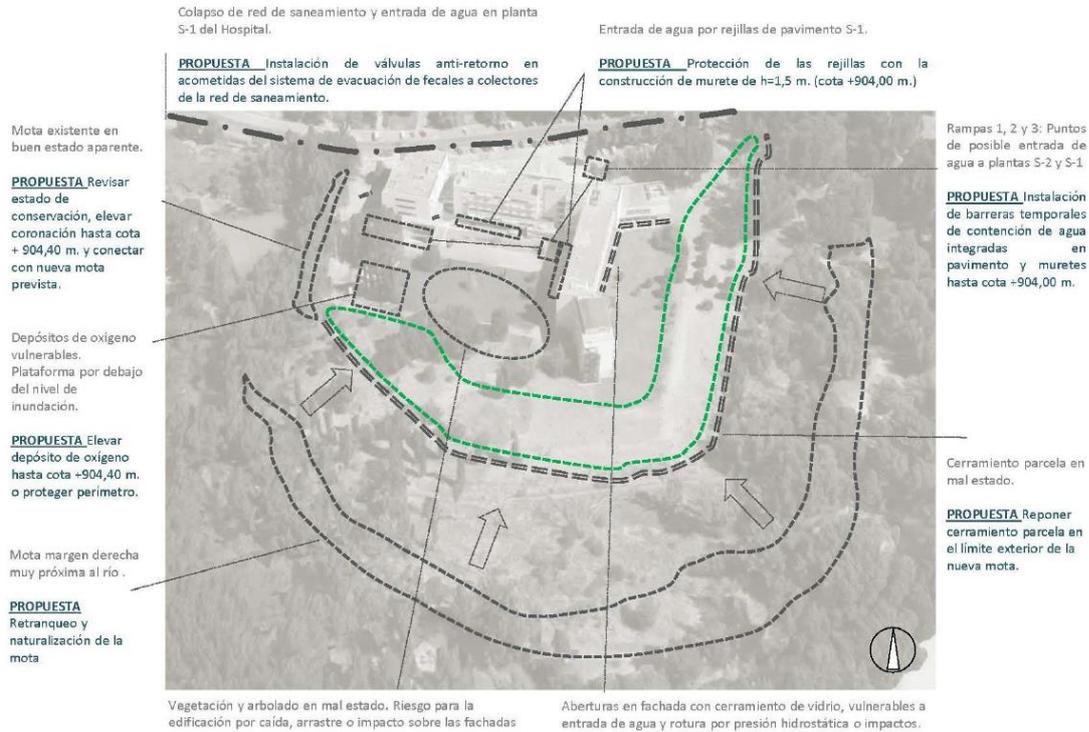


Figura 21: Croquis de las soluciones planteadas en el complejo hospitalario-residencial.



Figura 22: Crecida del río Júcar a su paso por el complejo hospitalario-residencial. Diciembre 2019.

En líneas generales, los objetivos perseguidos son:

- Profundizar en el contenido técnico de las guías de adaptación al riesgo de inundación



- Identificar y formar a los actores implicados y fomentar la cultura del riesgo
- Mejorar el conocimiento de los mecanismos de generación de daños de las inundaciones para cada tipología de edificación y posibles medidas.

De entre las actividades contempladas, destacar la identificación de los principales elementos en riesgo y afecciones que se producen en los sectores económicos estudiados en cada lote, aumentando así el conocimiento en la evaluación del impacto de las inundaciones en cada uno de ellos, el desarrollo de 75 diagnósticos en instalaciones de diversa tipología a partir de los cuales se redactarán 30 anteproyectos de adaptación que permitan definir con detalle las medidas diseñadas para reducir la vulnerabilidad de los distintos elementos en riesgo o el estudio, para cada tipología analizada, de la relación entre cota del agua y daños esperados en un episodio de inundación, permitiendo así disponer de la máxima información para la gestión del riesgo.

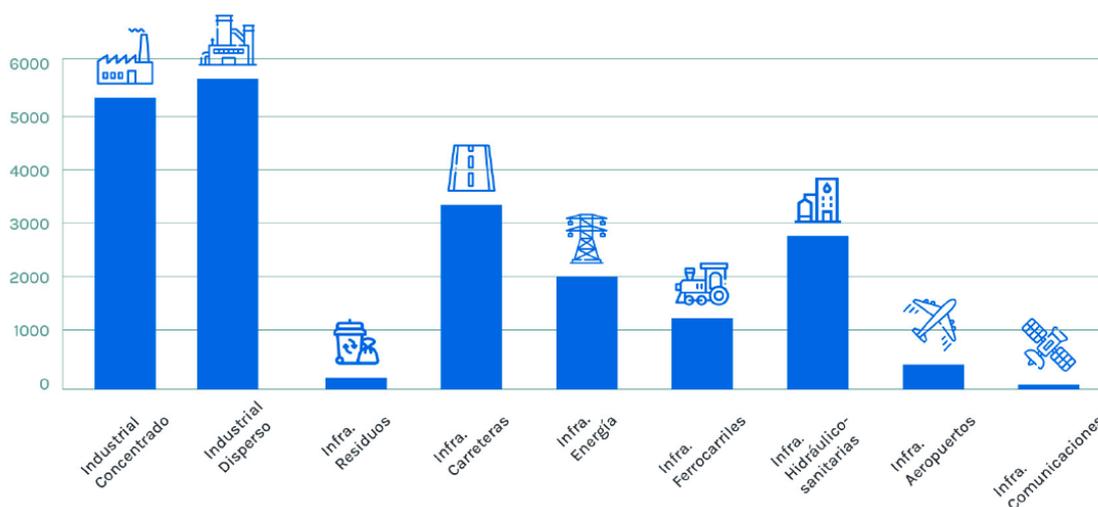


Figura 23: Industria e infraestructuras. Superficie afectada en ha en España para T=10 años.

La preparación de jornadas formativas sobre el riesgo de inundación y la puesta a disposición de la población y de los diversos agentes económicos y sociales de material divulgativo buscan mejorar la concienciación pública en la percepción de los riesgos.

Nuevas líneas de actuación

La especial virulencia que las inundaciones tienen en la zona de Campo de Cartagena, la cual se evidencia en episodios como el producido en septiembre de 2019, con la entrada de una DANA (depresión aislada en niveles altos) en la que se llegaron a alcanzar valores de precipitación acumulada del orden de 500 a 1000 años de periodo de retorno y 90.000 residentes en zona inundable (en base a los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación elaborados en la zona), han supuesto la selección de Los Alcázares, San Javier, Torre-Pacheco, Cartagena y San Pedro del Pinatar como pilotos a la hora de implantar este tipo de medidas.

Así lo corroboran los datos del Consorcio de Compensación de Seguros, ya que desde el año 2005 hasta 2019 la cifra total de indemnizaciones asciende a más de 180 millones de euros en estos términos municipales.



Figura 24: Riada de Santa María (DANA 2019). Los Alcázares

Por ello y, con la finalidad de dar un paso más en la adaptación al riesgo de inundación y lograr materializar las diferentes medidas de autoprotección, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, aprueba a finales de 2020, el *Real Decreto 1158/2020, de 22 de diciembre, por el que se regula la concesión directa de subvenciones para el desarrollo de planes piloto de fomento de la adaptación del riesgo de inundación de las edificaciones, equipamientos e instalaciones o explotaciones existentes en los términos municipales de Los Alcázares, San Javier, Torre-Pacheco, Cartagena y San Pedro del Pinatar (Murcia)*.

En total se destinarán tres millones de euros distribuidos en los siguientes importes:

- Ayuntamiento de Los Alcázares: 1.300.000 euros
- Ayuntamiento de San Javier: 600.000 euros
- Ayuntamiento de Torre-Pacheco: 500.000 euros
- Ayuntamiento de Cartagena: 400.000 euros
- Ayuntamiento de San Pedro del Pinatar: 200.000 euros

Para calcular la distribución de ayudas a la entidades beneficiarias, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha analizado las indemnizaciones otorgadas por el Consorcio de Compensación de Seguros en los cinco términos municipales, de manera que las ayudas son proporcionales a los daños ocasionados conforme a los siguientes porcentajes: el 45% en Los Alcázares, el 22% en San Javier, el 16% en Torre-Pacheco, el 13% en

Cartagena y el 4% en San Pedro del Pinatar, lo que supone el 96% de las indemnizaciones otorgadas en la comarca del Campo de Cartagena.



Figura 25: Indemnizaciones otorgadas por el CCS en el periodo 2005-2019

Entre las actuaciones a financiar, se encuentra la adquisición de equipamientos o materiales tales como barreras temporales o permanentes, bombas de achique, válvulas antirretorno y otros elementos y la ejecución de obras tales como impermeabilización o rediseño de fachadas, construcción o mejora de muros perimetrales, protección o sellado de huecos (ventanas, rejillas de ventilación, patinillos de instalaciones, etc.), protección o traslado de instalaciones vulnerables (cuadros eléctricos, calderas, depósitos de combustible, etc.) y otras obras que permitan mejorar la adaptación al riesgo de inundación de los equipamientos y edificaciones existentes e incrementar su resiliencia.

La norma contempla distribuir las ayudas entre los posibles beneficiarios, de tal forma que hasta un máximo del 40% del importe total de esta subvención, por término municipal, vaya destinada a actuaciones en edificios y equipamientos básicos de titularidad pública, al menos un 50% vaya orientada a actuaciones en equipamientos y edificaciones de ámbito privado, pudiendo disponer de hasta un 10% del importe total para la contratación de personal técnico.

Nuevos retos

En los próximos meses saldrán a consulta pública los planes de gestión del riesgo de inundación de segundo ciclo, los cuales permitirán dar continuidad a este tipo de medidas. Entre las prioridades de estos planes destaca el fomento de una adecuada cultura del riesgo en la población y de los diferentes agentes económicos y sociales, creando conciencia e impulsando la participación de todos los actores implicados. Se abre por tanto un nuevo horizonte para seguir fomentando la coordinación entre todas las administraciones públicas y desarrollar nuevos programas específicos de adaptación al riesgo de inundación. La mejora del conocimiento en este tipo de estrategias, con diagnósticos y proyectos elaborados a lo largo de todo el territorio gracias a los trabajos ya en marcha, permitirá expandir este tipo de soluciones en el ámbito de las distintas demarcaciones hidrográficas dentro de los programas de medidas de estos nuevos planes.

4.1.2. Análisis de actores y su percepción ante el riesgo y las mejores medidas para reducirlos

Leticia Blázquez, Juan A. García, José M. Bodoque

Universidad de Castilla-La Mancha

Introducción

La gestión del riesgo de inundaciones (GRI en adelante) ha seguido tradicionalmente un enfoque de resistencia, cuyo objetivo principal era lograr un riesgo cero. Esta estrategia se ha basado fundamentalmente en el diseño y la implementación de infraestructuras grises, complementadas por medidas no estructurales como, por ejemplo, la planificación del uso de la tierra o sistemas de prevención temprana. Sin embargo, cada vez es más claro que este enfoque resulta ineficiente, por distintas razones. En primer lugar, conduce a la alteración del régimen hidrológico de los ríos, lo que impacta en los ecosistemas de agua dulce, principalmente debido a la construcción de embalses. En segundo lugar, se aísla a los ríos de sus llanuras aluviales por la construcción de diques en los márgenes [289] lo que provoca una manifiesta degradación de los servicios ecosistémicos asociados. En tercer lugar, se crea una falsa sensación de seguridad entre los ciudadanos, que asumen que la protección frente a las inundaciones es total.

En respuesta a estas desventajas, desde comienzos del presente siglo, una serie de hitos han dado lugar a un cambio de paradigma en la GRI, que afecta a diversas cuestiones estratégicas. Una de ellas es que, actualmente, la legislación y las políticas demandan que la mitigación del riesgo de inundaciones sea compatible con la preservación del estado de los cuerpos de agua. Ejemplos de estas nuevas perspectivas son, a nivel europeo, las *Water Framework and Floods Directives* o el *European Green Deal*; y, a una escala más global, el objetivo 6.6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [295]. En esos ODS ya se puede deducir otro cambio de paradigma: la importancia de incorporar la dimensión social en la GRI, así como promover una mejor gobernanza para fortalecer la resiliencia de las naciones y las comunidades ante desastres naturales.

En consonancia con estas iniciativas, la GRI está alejándose del principio de protección absoluta y la adopción de soluciones puramente de ingeniería gris, y, en su lugar, políticas como la *European Strategy on Green Infrastructure* [88] están ganando peso. Estas nuevas políticas apoyan las inversiones en soluciones basadas en la naturaleza (SbN) [213], que con frecuencia resultan más exitosas que las tradicionales [301], ya que requieren unos costes de implementación y mantenimiento inferiores. Además, promueven la gestión integrada de las cuencas que, a su vez, permite un desarrollo socio-económico sostenible [306]. Parece claro, además, que la implementación de esas nuevas políticas y estrategias deberían ir de la mano de un cambio en la gobernanza de la GRI, evolucionando desde los enfoques establecidos de "arriba abajo", en los que prima una jerarquía tecnocrática, con frecuencia asociada a instituciones nacionales y/o regionales que actúan como únicos decisores [278], hacia un

enfoque de “abajo a arriba”, con estrategias más inclusivas, en los que la implicación de los *stakeholders* resulta esencial [149].

Con el objetivo de avanzar en esta incipiente área de conocimiento, este estudio tiene un doble objetivo. En primer lugar, estudiar los actores (*stakeholders*, en terminología anglosajona) implicados en la gestión, conservación y explotación de los sistemas fluviales y las relaciones existentes entre ellos. En este caso se empleó el análisis de redes sociales (SNA por sus siglas en inglés). El segundo objetivo es diferenciar y categorizar los *stakeholders* en diferentes clústeres de acuerdo con su percepción de la efectividad de las SbN y las infraestructuras grises como estrategias de gestión. Para ello, aplicamos análisis clúster de clases latentes (LCCA por sus siglas en inglés).

Metodología: Características del área de estudio

El sistema socio-ecológico analizado está localizado en el tramo del río Duero entre Toro y Zamora. El área que se extiende desde la cuenca hidrográfica al tramo de estudio cubre 44.000 km², con un caudal medio anual de 108 m³ s⁻¹. Por lo que su régimen hidrológico se refiere, el Duero se caracteriza por una variabilidad estacional y anual que incluye inundaciones severas con descargas pico de más de 15 veces la media anual del caudal. Este tramo exhibe un curso sinuoso, lo que proporciona a sus llanuras aluviales una alta capacidad para controlar inundaciones. Del mismo modo, es lo suficientemente largo (46,78 km) para comprobar si el sistema de llanura inundable es tan efectivo como las SbN para mitigar las inundaciones, asegurando el estado de los cuerpos de agua y promoviendo/recuperando servicios de ecosistema. Sin embargo, tiene varios diques que encajonan el río, limitando su conectividad lateral con su llanura de inundación. También se han identificado varias “áreas de riesgo potencial significativo de inundación” (es decir, se les puede aplicar la Directiva 2007/60/CE sobre la medida y GRI) y es parte de la Red Natura 2000.

El área de estudio incluye seis municipios: Zamora capital, con 61.406 habitantes y un término de 149 km²; Toro, con 8.713 habitantes y un término de 325 km²; y otros cuatro pueblos pequeños: Villaralbo, Fresno de la Ribera, Peleagonzalo y Villalazán.

1. **Análisis de stakeholders:** El concepto de análisis de *stakeholders* aplicado en este trabajo se basa en el esquema propuesto por Gilmour y Beilin (2007) [119] y comprende tres etapas establecidas en Reed et al. (2009): (1) identificación; (2) análisis de sus relaciones; y (3) su categorización/diferenciación.
 - a. Identificación de stakeholders: participantes e instrumento

La primera etapa trata de identificar los actores más relevantes situados en el área de estudio. Esta identificación se aplicó sistemáticamente utilizando enfoques *ex-ante* y *ad-hoc* [85]. *Ex-ante*, se identificaron y categorizaron los supuestos *stakeholders* a través de una amplia revisión de la literatura, complementada por el conocimiento de expertos. De este modo, se propuso un grupo inicial de *stakeholders*. A su vez, en el enfoque *ad-hoc*, a los

stakeholders identificados *ex ante* se les pidió de forma iterativa que identificaran nuevas categorías de stakeholders y contactos relevantes. Este procedimiento en forma de “bola de nieve” se repitió hasta que no se identificaron nuevos stakeholders. La base de datos estaba compuesta por 63 stakeholders que pertenecían a cuatro categorías. Para recoger los datos sobre cada stakeholder, se utilizó la figura de informante clave como una proxy a su organización, institución o compañía. El trabajo de campo se llevó a cabo durante los meses de octubre a noviembre de 2019, obteniéndose un total de 47 encuestas completas, lo que representa a una tasa de respuesta del 74,6%. La Figura 26 muestra un mapa de los 47 stakeholders que finalmente fueron entrevistados.



Figura 26: Mapa de stakeholders: actores a nivel nacional, regional, provincial y local

Para construir la base de datos, se diseñó un cuestionario compuesto de tres secciones. La primera incluía nueve ítems referidos a la efectividad de diferentes medidas y estrategias para mitigar el riesgo de inundaciones, puntuados en una escala Likert de 5 puntos desde “nada efectiva” (1) a “muy efectiva” (5). Esta información fue utilizada para categorizar los stakeholders en diferentes clústeres. En la segunda sección se incluyeron tres cuestiones, preguntando, respectivamente, con qué frecuencia cada stakeholder: (1) contactaba o hablaba con los demás sobre el río en general; 2) hablaba específicamente sobre el estado ecológico del río; y (3) hablaba específicamente sobre el riesgo de inundaciones. Las opciones de

respuesta oscilaban desde “nunca” (0) a “muchas veces” (4). Esas respuestas permitieron la construcción de tres matrices 47x47 que se utilizaron para el análisis de redes sociales. Como un paso previo al SNA, se evaluaron las consistencias/inconsistencias en la frecuencia de comunicación reportada por cada par de *stakeholders*. En los casos en que había discrepancias en la frecuencia de comunicación, se reemplazaron los valores por el valor mínimo reportado por los dos actores implicados. De esta manera, se construyeron tres matrices simétricas. Finalmente, la tercera sección recopila información sociodemográfica sobre el informante clave (edad, género, nivel educativo, organización, institución o compañía que él/ella representa, y posición).

b. Análisis de las relaciones entre stakeholders: SNA

SNA está basado en la teoría matemática de grafos [308]. En el grafo que representa las redes del río, los vértices de la red corresponden con los *stakeholders* que se han identificado y las líneas representan las relaciones establecidas entre cada dos *stakeholders*. Inicialmente, consideramos tres redes del río: “red hablan”, “red estado ecológico” y “red riesgo de inundaciones”, desde dos puntos de vista: redes ponderadas, donde cada línea representa la intensidad de las relaciones; y proyección binaria de la matriz genérica ponderada, analizando la mera presencia o ausencia de relación. A partir de estas matrices, calculamos tanto estadísticas agregadas/estructurales de la red completa, como específicas de cada nodo, que consideran las posiciones y roles individuales de los distintos actores dentro de la red.

c. Categorización de los stakeholders: LCCA

LCCA es un modelo que puede ser utilizado para identificar grupos de entidades (personas, organizaciones, municipios, etc.). El modelo propuesto incluía una serie de indicadores (nueve ítems relacionados con las diferentes medidas para mitigar el riesgo de inundaciones) e incorporaba el sector al que pertenecían los *stakeholders* (una variable nominal con seis categorías: intervención nacional, decisores, sociedad civil, sector de la agricultura, sector manufacturero y sector servicios) y nivel (local, provincial, regional y nacional) como covariables relevantes con las que predecir la pertenencia a un determinado clúster.

2. Mapeo de la red de stakeholders del río

a. Estructura de la red

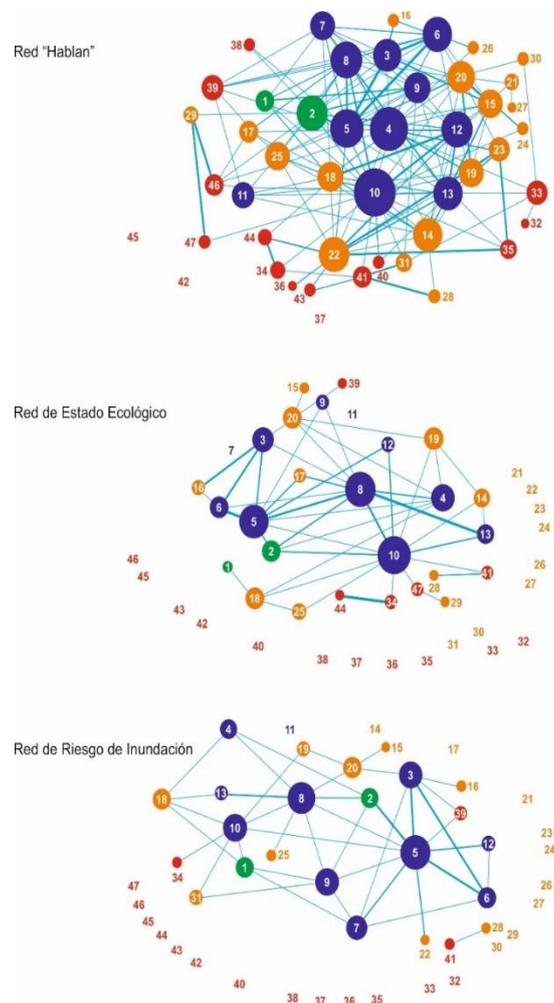
En lo que se refiere a las tres redes binarias, la Figura 27 muestra que las tres son muy poco densas, aunque la red hablan es más densa que las otras dos, siendo la red del riesgo de inundaciones la más diluida: en esta red, de las posibles relaciones entre los *stakeholders*, solo 1,9% se produce realmente (2,1% en la del estado del río y 7,3% en la de hablar en general). También observamos que la red hablan, aunque no es muy extensa, lo es en mucha más medida que las otras dos. Sus *stakeholders* tienen un mayor grado medio (*average node degree*, es decir, el número medio de otros *stakeholders* con los que contacta es superior: 6,72, en contraste con los 1,91 en la red del estado ecológico y de 1,74 de la red de riesgo de inundaciones. Además, de acuerdo con los resultados de las medidas agregadas de centralidad, las tres redes responden a una estructura tradicional centro-periferia en términos de conectividad e intensidad. Esto significa que hay pequeños grupos de *stakeholders* más conectados en el centro, que tienen relaciones con un mayor número de actores, mientras la mayoría de los actores se sitúan en la periferia, teniendo o bien un número muy pequeño de contactos –la mayoría actores centrales— o bien estando completamente desconectados. El patrón de heterogeneidad entre los *stakeholders* dentro de la red es claramente visible en la Figura 27, y especialmente evidente para el caso específico de la red de riesgo de inundaciones.

Adicionalmente, observamos que solo unos pocos *stakeholders* juegan un destacado papel de intermediarios dentro de las redes, resultando, por lo tanto, cruciales para la integración de estas. Además, advertimos que las distancias entre los nodos parecer ser mucho más cortas en la red hablan que en las otras dos, habida cuenta de que un mayor número de relaciones directas se observan dentro de esta red general. Especialmente lejos unos de otros se encuentran los *stakeholders* de la red de riesgo de inundaciones.

Centrando nuestra atención ahora en medidas locales observamos que en las redes hablan estado ecológico se han producido alrededor del 25% de todas las posibles relaciones triangulares, mientras que esta proporción es menor para la red de riesgo de inundaciones (17%). Cuando consideramos dos “saltos” en lugar de uno, apreciamos que los contactos de los actores más conectados no están necesariamente conectados entre sí.

También hemos detectado para la red hablan una amplia subred con *stakeholders* fuertemente conectados con el resto. De hecho, estos son los actores cruciales dentro de la red: uno de los dos cuerpos de intervención nacional, varios decisores, algunos miembros de sociedad civil, y solo uno perteneciente al sector productivo, concretamente una empresa estatal de servicios. El escenario es bien distinto para las otras dos redes, donde la subred más densa en ambas está compuesta por 11 *stakeholders*, con mucha menor conectividad entre ellos (7 grados frente a 3). Es muy remarcable la escasa participación del sector económico en las tres redes.

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS



Indicador	Hablan	Estado ecológico	Riesgo de inundaciones
Arcos	158	45	41
Densidad	0,073	0,021	0,019
Average degree	6,72	1,91	1,74
All Degree centralisation	0,39	0,23	0,19
Closeness centrality (media)	0,4077	0,1232	0,1005
Betweenness centrality (media)	0,0043	0,0011	0,0005
Betweenness centralisation	0,030	0,0214	0,0081
CLC1 (CLC2) (media)	0,23 (0,19)	0,25 (0,14)	0,17 (0,13)
K-core	(k=7) 20	(k=3) 11	(k=3) 11

Figura 27: Medidas topológicas y representación de la red del río. El tamaño de nodos (*stakeholders*) está relacionado con el número total de conexiones (*all node degrees*)

b. ¿Quién es quién en la red?

Si nos enfocamos ahora en las características individuales de los 47 *stakeholders* en las redes, comenzando por la red hablan, observamos que en el grupo de los *stakeholders* más conectados, tenemos a una de las fuerzas intervinientes nacionales, la que está más estrechamente relacionada con las áreas medioambientales; seis decisores, la mayoría de ellos instituciones públicas directamente relacionadas con la gestión técnica del río o con el medio ambiente, el turismo o agricultura y pesca. Finalmente, dentro de este grupo más conectado, encontramos también algunos miembros de la sociedad civil como sindicatos o la Cámara de Comercio provincial, empresas productivas, algunas de las cuales pertenecen al sector medioambiental y de servicios turísticos; y una asociación de consumidores.

Por lo que se refiere a la red estado ecológico del río, solo dos *stakeholders* tienen más de 10 contactos; otros tres tienen cinco o más; y 21 (de 47) no tienen ningún contacto con el resto de la red. Los dos *stakeholders* más conectados en esta red son decisores, ambas instituciones públicas directamente implicadas en la administración del río, una a nivel provincial y otra a nivel regional: estos *stakeholders* también están muy conectados en la red hablan. Entre los *stakeholders* que están completamente desconectados, hay principalmente empresas productivas, pero también algunos miembros de la sociedad civil, como asociaciones de consumidores, la Universidad regional o parroquias. Además, hay decisores como Protección Civil o la Mancomunidad.

Finalmente, dentro de la red de riesgo de inundaciones, hay un único *stakeholder* que tiene un grado de 10: un gestor técnico estatal del río. Tenemos, además, cinco actores más con un grado igual o más alto que 5, cuatro de ellos son decisores nacionales directamente implicados en la gestión del río. Hay 23 nodos desconectados; de nuevo, la mayoría de ellos miembros de sector productivo (13) y algunos de ellos actores de la sociedad civil (9). Una vez más, la Mancomunidad no reporta contacto alguno.

3. Categorización de los stakeholders en clústeres

Para agrupar a los *stakeholders* en función de su percepción de la efectividad de nueve medidas de mitigación del riesgo de inundaciones, se utilizó el LCCA. Se consideraron cinco modelos y los resultados indicaron que había tres clústeres de *stakeholders* de acuerdo con el BIC y el ICL-BIC. La Figura 28 presenta los perfiles de los tres clústeres de *stakeholders*.

Clúster 1. Escépticos. Es el más numeroso, representado el 46,8% de la muestra (un total de 22 *stakeholders*). Los actores de este grupo tienden a evaluar la efectividad percibida de las medidas de mitigación del riesgo de inundaciones por debajo de la media muestral, con las únicas excepciones de las medidas de dragado del río y la construcción de nuevos diques. Aproximadamente el 45% del clúster lo forman miembros de la sociedad civil, y contiene la mayor proporción de *stakeholders* relacionados con los sectores manufactureros y de servicios (40,9%). Además, los *stakeholders* locales predominan (54,5%) y, junto con el clúster 2, tienen la mayor proporción de *stakeholders* nacionales (22,7%).

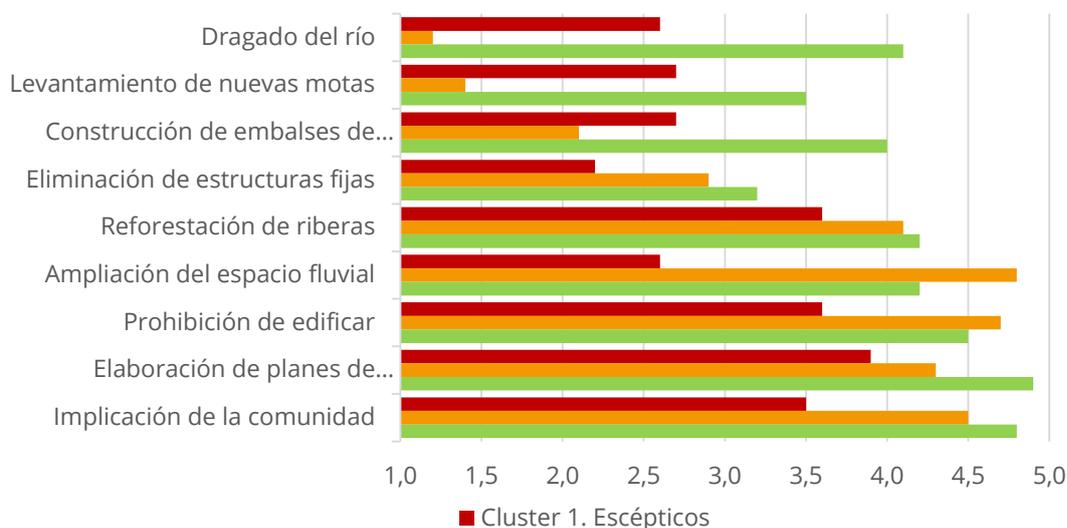


Figura 28: Perfiles de los tres clústeres de *stakeholders* (puntuaciones medias en una escala de 1 a 5)

Clúster 2. Entusiastas de las Sbn y la implicación de los stakeholders. Este grupo, que representa el 27,7% de la muestra (13 *stakeholders*), percibe alta efectividad de las medidas de mitigación relacionadas con crear espacio para el río, prohibir el desarrollo urbanístico en las áreas propensas a las inundaciones e incentivar la participación de la comunidad en la GRI. Y considera muy poco efectivas otras medidas estructurales relacionadas con el dragado del río y la construcción de nuevos dique y embalses. Más del 90% de los actores en este grupo son parte de la sociedad civil (principalmente ONG medioambientales, asociaciones de consumidores y universidades) o decisores. Los *stakeholders* regionales son mayoritarios (46,2%).

Clúster 3. Defensores de enfoques holísticos. Este último grupo representa el 25,5% de la muestra (12 *stakeholders*) y su principal característica distintiva es la alta efectividad percibida de casi todas las medidas de mitigación. Las dos fuerzas de intervención nacional están incluidas en este clúster y, dentro de los sectores productivos, las empresas agrícolas y de servicios representan un mayor porcentaje que en otros clústeres. La mitad de ellos son *stakeholders* locales, aunque la importancia de actores provinciales es significativamente más alta que en los otros dos clústeres. Los únicos *stakeholders* nacionales en este grupo son los de intervención.

Discusión

Los resultados presentados en la Sección 3 han puesto de relieve algunas cuestiones que merece la pena discutir. Detectamos, en general, relaciones muy escasas y débiles entre los *stakeholders* en nuestro análisis. Y ello se produce para las tres redes, aunque de una forma más acusada cuando la comunicación se refiere al estado ecológico del río y al riesgo de inundaciones. Es particularmente preocupante la completa desconexión de numerosos

stakeholders, la mayoría de ellos miembros de los sectores productivos y la Mancomunidad, cuando esta última debería jugar un papel destacado dentro de la red. En este contexto, es razonable asumir que el potencial para abordar acciones y resolver conflictos de forma conjunta y colaborativa se va a ver seriamente minorado, siendo, además, muy improbable que las estrategias o acciones que emerjan en cualquier dirección acaben expandiéndose. Este “efecto cascada” sería muy deseable para que las estrategias del tipo abajo-arriba funcionaran. Como Sandström (2008) [261] muestra, los beneficios de incrementar la densidad de los lazos es especialmente importante cuando muchos vínculos relacionales existen entre actores de diferentes clases, lo que no se produce en ninguna de las tres redes.

Aunque la relativamente alta centralización de la red observada podría ser una ventaja para las acciones colectivas en la medida que los actores centrales tengan las habilidades apropiadas para priorizar y coordinar las actividades, las relaciones asimétricas de influencia y poder podrían hacer emerger cuestiones relacionadas con la legitimidad y la adecuada representación de los actores periféricos [299]: estos podrían sentir que han sido marginados en determinadas áreas de decisión y que solo un grupo de actores centrales definen la agenda en nombre de la mayoría de los miembros de la red [31]. Dentro de estas estructuras de red, el intercambio de información y la adopción innovaciones generalmente tiende a llegar desde los actores centrales altamente conectados hacia actores periféricos mucho menos conectados. Esto es exactamente lo contrario de lo que la estrategia de abajo a arriba requeriría. Además, estas redes centralizadas son más vulnerables a la eliminación o la disfuncionalidad de los pocos actores centrales [31], [108].

En las redes relacionadas con el estado ecológico del río y el riesgo de inundaciones, hemos detectado también un bajo nivel de cohesión: no existe ni un grupo relevante que esté cohesionado, ni varios subgrupos de manera clara distinguibles que estén especialmente relacionados entre ellos. Esta estructura podría tener efectos muy negativos en la capacidad de implantar cualquier proceso colaborativo entre actores [124]. Este no es el caso en la red hablan, donde sí hay un numeroso grupo de actores intensamente relacionados. Por lo tanto, esta red más cohesionada debería ser utilizada como *palanca* para introducir temas y asuntos más específicos en lo que a la gestión de recursos del río se refiere.

En lo que concierne a la categorización de los *stakeholders*, los tres grupos identificados presentan marcadas diferencias en: (1) su tamaño relativo; (2) la efectividad percibida de las SbN y las infraestructuras grises como estrategias de gestión; y (3) el sector y nivel de los *stakeholders*. Desde un punto de vista práctico, estos resultados tienen importantes implicaciones para el diseño y la implementación de estrategias de comunicación de abajo a arriba dirigidas a los *stakeholders*. En primer lugar, parece claro que el grupo escépticos (clúster 1) debería ser el público objetivo principal para la estrategia de comunicación, debido a su extenso tamaño y su perfil con relación a la baja efectividad percibida de las diferentes medidas de mitigación de riesgo de inundaciones. Por lo tanto, el diseño de acciones de concienciación dirigidas a la sociedad civil (principalmente a sindicatos, asociaciones de agricultores, asociaciones de arquitectos o instituciones religiosas) y los sectores secundario y terciario parecen tener un gran potencial para incrementar la efectividad de las medidas

relacionadas con las SbN. En segundo lugar, el clúster llamado de entusiastas de SbN y la implicación de los *stakeholders* (clúster 2), en lugar de ser considerado como un público objetivo, debería tomar un papel activo como contactos clave en la estrategia de comunicación. Dos son las razones para ello: (1) han internalizado los enfoques de GRI que están cercanos a aquellos que deberían ser promovidos; y (2) están razonablemente bien conectados con los otros *stakeholders*. En este sentido, si se logra que los decisores, las fundaciones relacionadas con la gestión del agua, las asociaciones medioambientales, las asociaciones de consumidores y la universidad se sientan parte de la estrategia de comunicación diseñada, con toda seguridad esto los animará a actuar como diseminadores o colaboradores de esta. Finalmente, los defensores de los enfoques holísticos (clúster 3) deberían liderar el diseño y la implementación de la estrategia de comunicación debido tanto su perfil como su elevada interrelación con otros actores (especialmente en el caso de las fuerzas de intervención nacionales y la Diputación de Zamora).

Conclusiones

En este trabajo hemos explorado la transición gradual que está teniendo lugar en la GRI desde un anticuado enfoque de resistencia basado puramente en infraestructuras grises, hacia esquemas integrales más proactivos en los que la base principal son las SbN, aplicando nuestro análisis al caso del río Duero. En particular, hemos enfocado nuestra atención en el papel que la implicación de los *stakeholders* en el diseño de las estrategias de gobernanza del tipo de abajo a arriba, las cuales son las más apropiadas para la efectiva implementación de las nuevas visiones, en contraste con los antiguos, anquilosados, sistemas de arriba abajo.

En el análisis hemos detectado que, hasta el momento, es muy difícil establecer una estrategia exitosa de abajo a arriba ya que las redes existentes no son muy extensas y están débilmente cohesionadas, especialmente aquellas que se refieren los temas más específicos de la estrategia de gestión: el riesgo de inundaciones y el estado ecológico del río. Bajo esas condiciones, las posibilidades de establecer relaciones sólidas entre los *stakeholders* con información, ideas, intereses, preocupaciones, innovaciones, planes y contribuciones creativas que fluyan en todas las direcciones dentro de las redes del río son ciertamente limitadas. En consonancia, sin unos vínculos más intensos y extensos en los que todos los *stakeholders* se sientan bien representados, es muy improbable que procesos colaborativos y efectivos, basados en el entendimiento, la asimilación y la aceptación común de las políticas y acciones necesarias puedan ser implementados. Sin embargo, en nuestro análisis, identificamos algunos *stakeholders* centrales que, además son los más poderosos desde un punto de vista financiero e institucional, y que merecen centrar la atención para desarrollar la estrategia. Ellos son los más conectados y los más intensamente conectados y juegan un papel de intermediarios muy prometedor para establecer puentes con los demás *stakeholders*. Además, hemos encontrado que alguno de esos actores destacados son entusiastas de las SbN y la implicación de los actores, así como defensores de enfoques holísticos. Por lo tanto, deben ser conscientes de que deberían ser ellos los que lideraran las nuevas estrategias de GRI. Al mismo tiempo, se debería desarrollar un plan de comunicación

bien diseñado para que el gran número de *stakeholders* que están escasamente o nada conectados pasen a ser participantes activos en las redes del río.

Después de este análisis, lo que ha quedado claro es que la efectiva implementación del nuevo paradigma de la GRI requiere un profundo y detallado entendimiento del sistema social implicado o afectado. De otro modo, es muy probable fracasar ya que el sistema adolece de la falta de legitimidad y colaboración que son indispensables.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos DRAINAGE (CGL2017-83546-C3-1-R/AEI/FEDER, UE) del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación y ADaPTAR (SBPLY/17/180501/000416/JCCM/FEDER, UE) de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

4.1.1. Soluciones basadas en la educación en el riesgo dirigida a la población infantil

Andrés Díez Herrero¹, Mario Hernández Ruiz¹, Carlos Carrera Torres², Pablo Díez Marcelo³, José María Bodoque⁴, Ernesto García Peiroten⁵, Cristina Martín-Moreno⁵, Nuria Sacristán Arroyo⁶, M^a Fuencisla Vicente Rodado⁷, Sara González Álvaro⁶, Albert Díez Herrero^{6,8}, Ignacio Gutiérrez Pérez⁹, Juana Vegas Salamanca¹

1. Instituto Geológico y Minero de España
2. Fundación Ávila
3. Colegio Claret Segovia
4. Universidad de Castilla- La Mancha
5. Universidad Complutense de Madrid
6. Segovia Educa en Verde
7. IES María Moliner, Segovia
8. Talher
9. US Ferrovial-Agromán

Introducción: La educación al riesgo

La **educación en el riesgo**, o sea, la formación de las personas para la mejora de su conocimiento y percepción de los peligros que les amenazan, está considerada por los diferentes organismos y expertos internacionales y nacionales como la actuación más efectiva a corto, medio y largo plazo, de entre todas las medidas preventivas de mitigación de los riesgos naturales.

El propio **Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030**, en Resolución aprobada por la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas el 3 de junio de 2015, recoge el papel de la educación en el riesgo en varios de sus contenidos:

- Principios rectores: k) "... incrementar la **educación** y la sensibilización públicas sobre el riesgo de desastres."
- Prioridad 1: Comprender el riesgo de desastres. Niveles nacional y local:
- g) "... la **educación** sobre la reducción del riesgo de desastres, en particular usando los mecanismos existentes de capacitación y **educación** y de aprendizaje entre pares."
- l) Promover la incorporación de los conocimientos sobre el riesgo de desastres, incluida la prevención, mitigación, preparación, respuesta, recuperación y rehabilitación en casos de desastre, en la **educación** académica y no académica, en la **educación** cívica a todos los niveles y en la **educación** y formación profesional.
- m) Promover estrategias nacionales para reforzar la **educación** y sensibilización públicas sobre la reducción del riesgo de desastres, incluidos la información y los

conocimientos sobre el riesgo de desastres, a través de campañas, las redes sociales y la movilización de las comunidades, teniendo en cuenta el público destinatario y sus necesidades.

- f) Preparar campañas mundiales y regionales eficaces como instrumentos para la sensibilización y **educación** públicas [...] para promover una cultura de prevención de desastres, resiliencia y ciudadanía responsable, generar comprensión de los riesgos de desastres, apoyar el aprendizaje mutuo e intercambiar experiencias; y alentar a todos los actores públicos y privados a participar activamente en ese tipo de iniciativas y a crear otras nuevas a nivel local, nacional, regional y mundial.

En el ámbito español, la Ley 17/2015 de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil, le asigna a la Escuela Nacional de Protección Civil (integrada en la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior), la formación especializada y de mandos de alto nivel del personal de Protección Civil de la Administración General del Estado y de otras entidades con las que se mantiene una vía de colaboración; pero normalmente sólo asisten como alumnos de la Escuela, los profesionales que estén desempeñando sus funciones en algún ámbito relacionado con protección civil en la Administración Pública. También a nivel estatal, pero para una tipología de desastre, los planes de gestión del riesgo de inundación (PGRI), desarrollados por la Dirección General del Agua y las diferentes demarcaciones hidrográficas tienen, entre sus principales objetivos para la reducción del riesgo por inundaciones, el aumento de la percepción social del mismo; cuestión que se consigue a través de planes de comunicación y campañas de educación en el riesgo.

Existen, desde hace décadas, numerosas iniciativas de educación en el riesgo fuera del ámbito académico, que van desde ambiciosas campañas y programas internacionales, como las organizadas por el *UNDRR's Global Education and Training Institute* (GETI); a actividades locales promovidas por ayuntamientos, ONGs o asociaciones vecinales. Es el caso, por citar algunos ejemplos en nuestro país, de: los Cursos de Riesgos Geológicos, dirigidos al público general, que organizó el IGME-ITGE en las décadas de 1980-1990; la iniciativa de las excursiones divulgativas "A todo riesgo. Convivir con los desastres geológicos cotidianos" 2007-2020 [78], [68]; el programa Venero-Claro Agua 2013-2019, para la educación en el riesgo de inundación de niñas y niños en campamentos de verano [71], [130]; las 'escuelas de alcaldes' promovidas por las autoridades de cuenca de las demarcaciones hidrográficas; los cursos de formación en riesgos para los técnicos municipales organizados por las Diputaciones provinciales (p.e., Granada); o los cursos programados por la Escuela Nacional de Protección Civil y diferentes escuelas autonómicas y locales; de las que se excluye la formación académica reglada formal en niveles universitarios y de postgrado. Sin embargo, muchas de ellas son actividades educativas puntuales, dirigidas a público adulto especializado, que se realizan en una ocasión y no suelen tener continuidad en el tiempo, ni suficiente periodicidad como para garantizar su efectividad a medio o largo plazo.

Por todo ello, el objetivo de esta aportación es exponer brevemente dos experiencias de educación en el riesgo de inundaciones dirigidas a la población infantil, mantenidas en el tiempo y que han sido evaluadas con éxito.

Metodología: la educación infantil en el riesgo de inundación

El estudio de las inundaciones y sus riesgos asociados es un claro ejemplo de interdisciplinariedad científica, porque su análisis y prevención implica a diversas disciplinas del ámbito de las Ciencias de la Tierra (Meteorología, Hidrología, Hidráulica, Geología, Geomorfología, Geografía Física...) y de las Técnicas (Ingeniería Topográfica, Ingeniería Civil, Ingeniería Forestal...); pero también del ámbito de las Ciencias Sociales y Humanidades (Sociología, Economía, Geografía Humana, Psicología Ambiental, etc.). A pesar de la trascendencia socioeconómica de las inundaciones y de la multidisciplinariedad científica de su estudio, la concienciación de la población en general sobre las disciplinas ocupadas del estudio y prevención de las inundaciones es muy limitada, y en muchos aspectos inexistente, con predominio de los prejuicios y las creencias que en ocasiones rozan con la superstición. Tampoco es más esperanzadora la formación científica en estas materias que reciben los jóvenes en edad escolar (Enseñanza Infantil, Enseñanza Primaria y Enseñanza Secundaria), por no estar adecuadamente desarrolladas en los *currícula* de asignaturas como Conocimiento del Medio, Ciencias de la Naturaleza, o Biología y Geología; que se limitan a tratar aspectos generales del ciclo del agua o del funcionamiento básico de los ríos (ver temarios de los cursos de 3º EPO a 1º ESO).

Por todo lo anteriormente expuesto, es necesario incrementar la concienciación de la población relacionada con las disciplinas que abordan el análisis y prevención del riesgo por avenidas e inundaciones; y no sólo por objetivos académicos, sino por motivos prácticos que entroncan con la seguridad personal. Los objetivos generales este tipo de actuaciones de educación en el riesgo dirigida a la población infantil deberían ser:

- Incrementar la concienciación ambiental, la cultura científica, tecnológica e innovadora de la sociedad, a través de su población infantil y juvenil en edad escolar, que es como mejor se llega al conjunto de las familias, y se siembra la semilla de la conciencia ambiental en los adultos del futuro.
- Incrementar la difusión de los resultados de investigación científico-técnica y de la innovación relacionadas con las inundaciones, financiados con fondos públicos.
- Fomentar e incentivar el acercamiento de la ciencia, la tecnología y la innovación a los ciudadanos acortando distancias entre el mundo científico y tecnológico y la sociedad en general. Concretamente llevando al ámbito del ocio y el tiempo libre las fuentes de datos, métodos y forma de trabajar del científico, a través de prácticas y juegos, que acercan a los ciudadanos el instrumental científico y su utilidad.
- Mejorar la educación científico-técnica de la sociedad en todos los niveles. Impulsar la participación activa de la sociedad en actividades de divulgación científica. Apoyar la

labor de divulgación científica realizada por las unidades de cultura científica y de la innovación y los museos y centros científicos y tecnológicos.

Experiencia educativa infantil de 'Venero Claro-Agua' (2013-2019)

La actuación denominada 'Venero Claro-Agua' ha consistido, en las siete ediciones anuales celebradas (2013-2019), en un programa de actividades formativas en materia de Ciencias de la Tierra (fundamentalmente Geología, Meteorología e Hidrología) enfocado a la educación en los riesgos por avenidas e inundaciones y dirigido al público infantil [75], [71]. Todas las actividades han sido programadas y ejecutadas por investigadores científicos y tecnólogos especialistas en el análisis y la gestión sostenible de los riesgos por avenidas e inundaciones del Instituto Geológico y Minero de España (Ministerio de Ciencia e Innovación); en perfecta coordinación con el equipo de coordinadores y monitores de tiempo libre del campamento infantil (Fundación Ávila); y han contado con la colaboración de profesores y alumnos en prácticas de otras universidades y centros de investigación (UCLM, UCM, UMa, UA, UPM, UVa, UEM...). Se desarrollan durante las vacaciones escolares del verano, entre finales de junio y principios de septiembre, abarcando un periodo de aproximadamente dos meses y medio cada año.

Las actividades se realizan en la Colonia Infantil de Venero Claro, situada en el paraje homónimo de la vertiente septentrional de la Sierra del Valle (término municipal de Navalunga, provincia de Ávila, comunidad autónoma de Castilla y León). El público destinatario son los niños y niñas que asisten a los diferentes turnos de los campamentos estivales en Venero Claro, en periodos que oscilan entre los 11 y 15 días, en grupos de unos 180 jóvenes, correspondientes a diferentes colectivos: colegios (Jesús María, de Madrid), colectivos de clientes de entidades bancarias (Bankia) y clubes deportivos para tecnificación. En total, los veranos de 2013 y 2019 han asistido a los campamentos unos 540 niños al año, con edades entre los 7 y 13 años (entre 2º EPO y 1ºESO). El origen de residencia de los asistentes, si bien puede ser procedente de toda España, se concentra fundamentalmente entre la provincia de Ávila y la Comunidad de Madrid. El hecho de que este público objetivo esté desarrollando actividades de ocio y tiempo libre, hace que estas actuaciones en el ámbito de la educación no formal (fuera del *currículum* académico), y puedan conseguirse mayores éxitos de asimilación e implicación, porque perciben el aprendizaje científico como parte de un juego o experiencia, y no como una materia sujeta a examen. Además, teniendo en cuenta que se entrega material divulgativo (díptico, folleto, DVDs...) y que los juegos son verdaderamente singulares, es probable que la repercusión de la actividad se multiplique con el retorno de los niños y niñas con sus familias, por lo que el impacto esperable de la actuación puede que alcance del orden de 1.500 personas por edición.

A modo de ejemplo, el tipo de actividades que se realizarán durante los talleres, juegos y visitas en relación con el riesgo de inundación son:

- **Taller "¿Cómo funciona ese cacharro?".** Consiste en un taller de manejo detenido de toda una serie de instrumental científico utilizado para la adquisición de datos

hidrometeorológicos. Se les muestra y deja manipular: un pluviómetro digital de cazoletas; un limnómetro piezorresistivo; un molinete de medida de la velocidad del agua en los ríos; una estación meteorológica completa automática; una barrena Pressler para obtención de testigos de árboles con marcas de inundaciones pretéritas (Figura 29); etc.

- **Visita “Así curran los científicos del agua”**. Consiste en una visita a algunas de las instalaciones y aparatos instalados dentro de la Colonia Infantil o en sus inmediaciones, con los que los científicos de diversos OPIs y universidades, realizan habitualmente sus trabajos. No sólo se muestra cómo están instalados y por qué se instalaron allí, sino también cómo se descargan los datos y qué estudios se realizan con ellos, de forma que los niños y niñas comprenden el ciclo completo de un estudio científico en el ámbito del análisis y la prevención del riesgo por avenidas e inundaciones.
- **Concurso “¿Qué hago si me veo en una inundación?”**. Consiste en un concurso de preguntas y respuestas, a modo de Trivial, sobre cómo actuar para autoprotegerse en caso de verse inmerso en un evento de inundación. Cuestiones sobre cómo moverse, dónde refugiarse, a qué sitios acudir y a cuáles no, los teléfonos de emergencias, las precauciones a adoptar, e incluso los consejos a dar a sus padres si están en un vehículo, constituyen el núcleo del concurso. Los premios para las personas y subgrupos acertantes son simples regalos del tipo DVDs divulgativos [153], pegatinas y bolígrafos.
- **Práctica científica “Cuando el río suena a Rolling Stones”**. Consiste en una práctica de inicio de la investigación científica, mediante el método científico, en el que los grupos de niños realizan una observación (los cantos del lecho del río que atraviesa la colonia están redondeados), plantean una hipótesis (el transporte del río es quien los ha redondeado), diseñan un experimento (marcaje con pintura de los cantos para observar si se mueven y cuánto) y lo ejecutan (miden y pesan los cantos antes de pintarlos, para ver la influencia de estos parámetros). Finalmente, observando el resultado del experimento de los jóvenes del año anterior, pueden confirmar o refutar su hipótesis.

Evaluación de la efectividad del programa educativo (2018)

En la edición de 2018 de las actividades de Venero Claro-Agua, un equipo de psicólogos ambientales del IGME y de las Universidades de Valladolid, Castilla-La Mancha y Complutense de Madrid, analizaron la efectividad de las actuaciones formativas mediante encuestas de conocimiento y percepción, tanto previas a las actividades, como posteriores a las mismas [133], [130].



Figura 29: Jugando a "Riadas escritas en los árboles" (2016).

La encuesta constó de una serie de preguntas que se dividían en distintos apartados. Un primer apartado (bloque 0) diseñado para la caracterización demográfica de los encuestados; un segundo apartado (bloques 1 y 2) en el que las preguntas se enfocan en cuantificar el conocimiento de los niños acerca de la temática de las acciones educativas; y un último apartado (bloque 3) en el que se ha utilizado el método de Likert, con preguntas enfocadas a la percepción relativa del riesgo de inundación.

Dicho año asistieron al campamento un total de 540 niños de los cuales 180 pertenecían al colegio Jesús María de Madrid y los 360 restantes procedían de distintos centros (hijos de empleados o clientes de Bankia). Del total de 540 encuestas realizadas previamente y posteriormente a las acciones formativas (pre- y post-), entregadas a los monitores del campamento para gestionar su cumplimentación por los niños, el estudio estadístico de análisis de las respuestas se ha realizado con 297 formularios rellenos; ya que el resto de las encuestas, o bien no fueron rellenas, o bien presentaban errores que impedía un correcto análisis.

Los resultados mostraron un aumento significativo del conocimiento y la percepción entre antes y después de las actividades de educación en el riesgo; y cómo el número de veces que los encuestados han acudido al campamento y su edad influyen notablemente en la percepción y conocimiento que éstos conservan [133].

Nuevas iniciativas en la educación en el riesgo (2019-2020)

Las estrategias y los recursos en la divulgación y educación han evolucionado en el tiempo en paralelo al desarrollo y consolidación de la pedagogía. En pleno siglo XXI, campos como la educación en la prevención de los desastres naturales, y herramientas como los videojuegos

deben complementar a las técnicas y estrategias de enseñanzas clásicas. Por ello, desde hace dos años, un equipo multidisciplinar está desarrollando recursos divulgativos y didácticos sobre educación en los riesgos naturales, y en particular el riesgo de inundación, utilizando el popular videojuego infantil *Minecraft* [70], [71].

Minecraft es un videojuego infantil y juvenil (PEGI 7), creado en 2009, con más de 170 millones de usuarios en el Mundo, que es de tipo 'creativo' (*sandbox*), esto es, que permite crear paisajes y relieves (llamados 'mundos') a partir de elementos de construcción ('bloques' cúbicos de diferentes tipos de materiales). Puede ser utilizado tanto de forma divulgativa en el ocio y tiempo libre, como para la enseñanza formal y no formal, como ya es usado en diversos centros educativos de todo el mundo, incluido nuestro país.

Para conseguir la educación en el riesgo por avenidas e inundaciones, se ha contratado un servidor llamado '*Minecraft* Venero Claro' (IP 173.249.35.60:25569), en el que se ha reconstruido la conocida colonia infantil de campamentos de verano Venero Claro, por la que anualmente pasa más de medio millar de niños y jóvenes. Además de las instalaciones (edificios, pistas polideportivas, piscina, granja...), se reconstruye el arroyo Cabrera, que tiene frecuentes y virulentos eventos de avenidas torrenciales y flujos de derrubios (Figura 30). Los jóvenes, además de recorrer las instalaciones, ante una riada tienen que saber cómo actuar y qué medidas de autoprotección adoptar, como huir a las zonas elevadas, no acercarse a la zona inundada (donde 'morirían ahogados') o los teléfonos de emergencia.

Además de los dos servidores y mundos, disponibles para juego en las plataformas de ordenador personal (Windows, Mac, Linux), se han abierto un canal en YouTube llamado '*Minecraft* Gea' y una cuenta en la red social *Instagram*, en los que se cuelgan vídeos breves de recorridos y funcionamiento del juego. Próximamente se emplearán las capacidades de incorporación de MDE mediante conexiones con los SIG y también las funcionalidades de la realidad virtual con *Minecraft* Earth.

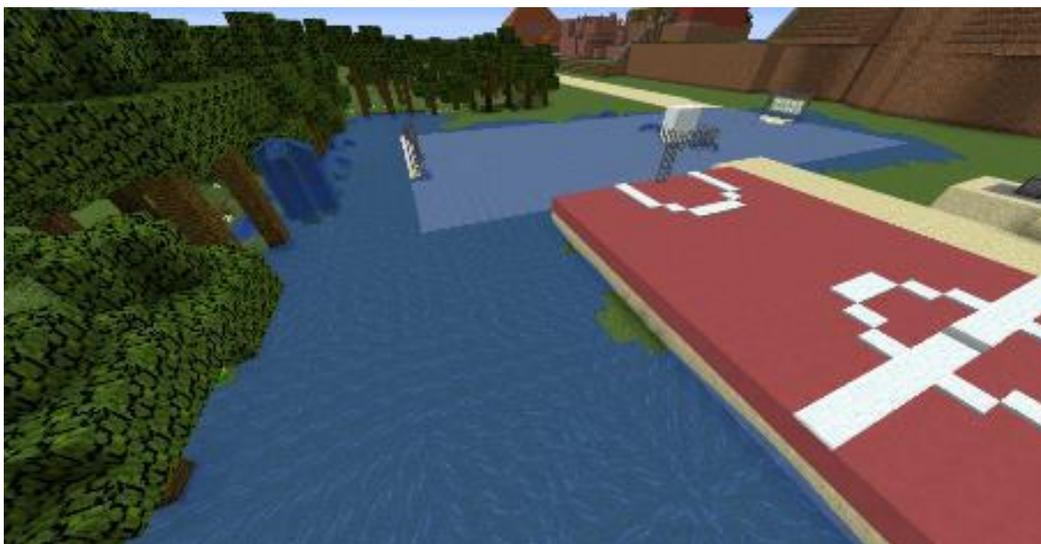


Figura 30: Imagen del videojuego *Minecraft*, mundo Venero Claro, en la que el arroyo Cabrera desbordado inunda las canchas de baloncesto y el campo de fútbol de la Colonia infantil.

Con todo ello se pretende lograr poner a disposición de los jóvenes, con sus herramientas y hábitos, el apasionante mundo de los riesgos naturales. Ya ha sido empleado en una edición de las actividades en Venero Claro-Agua (2019), con notable éxito de acogida y seguimiento por los participantes.

Experiencia educativa infantil 'A todo riesgo'

Entre todas las experiencias de educación en el riesgo a nivel nacional (e incluso internacional), destaca por su temática multi-desastre, su amplio espectro de público objetivo y su continuidad temporal, la excursión didáctica titulada 'A todo riesgo. Convivir con los desastres geológicos cotidianos' [78], [68]. Se trata de una actividad de educación en el riesgo y de divulgación científica que se viene celebrando en la Semana de la Ciencia, de forma continuada desde el año 2007 a la actualidad, por lo que ya se han realizado más de una decena de ediciones, con una excelente acogida por parte del casi millar de personas que han participado. Consiste en una excursión guiada por especialistas en riesgos geológicos, que realizan una interpretación científico-técnica de paradas del recorrido, y que en las últimas ediciones se realiza andando por lugares donde han ocurrido recientemente, o están teniendo lugar en la actualidad, desastres naturales de índole geológica (desprendimientos, deslizamientos, colapsos, inundaciones, terremotos...), que han interferido o interactúan con las actividades humanas, produciendo importantes pérdidas económicas, e incluso daños a la integridad de las personas; observando e interpretando las huellas que quedan de estos desastres o que nos permiten vaticinar que ocurrirán en el futuro; cómo se analiza su frecuencia, magnitud y ocurrencia temporal; cómo se predicen, previenen y corrigen; y qué podemos hacer para autoprotegernos frente a ellos.

Los objetivos que se persiguen con esta actividad son:

- Mostrar diferentes lugares próximos donde han tenido lugar, o aún tienen lugar en la actualidad, desastres y catástrofes naturales de origen geológico.
- Describir e interpretar el funcionamiento de los procesos geológicos susceptibles de producir desastres y catástrofes.
- Demostrar la cercanía, espacial y temporal, de fenómenos que han dado lugar a pérdidas económicas y personales.

Todo ello en un recorrido andando (a pie), apto para todos los públicos (incluidas personas con discapacidad física e intelectual), que se desarrolla en la ciudad de Segovia y su entorno periurbano. Para la correcta observación e interpretación de las situaciones de riesgo o de los efectos de los desastres naturales históricos, se han diseñado una serie de 15 paradas en el itinerario entre plaza del Azoguejo (Centro de Recepción de Visitantes) y el Santuario de Nuestra Sra. de la Fuencisla, entre las cuales se dedican al riesgo por avenidas e inundaciones las siguientes:

- Inundaciones históricas del Eresma en el antiguo Mº de Sta. María de los Huertos

- Inundaciones históricas y recientes de la Casa de Moneda
- Inundaciones en el barrio de San Marcos y el nuevo tanque de tormentas
- Inundaciones históricas en la Fuencisla y la corta artificial del meandro de San Lázaro
- Las inundaciones históricas del arroyo Clamores en Segovia

Este recorrido de educación en el riesgo fue incluido dentro de los itinerarios geoturísticos del libro “De roca a roca. Descubre el patrimonio geológico de la ciudad de Segovia” [67]; y, con las pertinentes adaptaciones, incorporado al programa de educación ambiental municipal “Segovia Educa en Verde” [69], donde se ha realizado en decenas de ocasiones con grupos escolares, público infantil y familiar (Figura 31). Incluso se han desarrollado materiales didácticos específicos (página web, folletos y una guía de buenas prácticas) para su uso en educación ambiental y geoturismo [302], incluyendo aspectos de conocimiento y percepción de riesgos naturales e inundaciones.



Figura 31: Explicaciones divulgativas en una parada de la actividad ‘A todo riesgo’ para un grupo familiar con público adulto e infantil del programa “Segovia Educa en Verde”.

Conclusiones

La educación en el riesgo de inundación dirigida a la población infantil es una medida de mitigación del riesgo preventiva de una alta eficiencia y óptima relación coste-beneficio. El programa de educación en el riesgo de inundaciones a población infantil de Venero Claro-Agua es pionero en el tiempo y su mantenimiento en nuestro país, e innovador en las estrategias formativas, desde los clásicos talleres prácticos al uso de videojuegos. Con esta iniciativa se ha conseguido incrementar significativamente el conocimiento y percepción del riesgo de inundaciones de varios millares de niños y niñas, y por extensión de sus familiares y conocidos, mejorando su resiliencia y capacidades de autoprotección ante posibles desastres a las que se tengan que enfrentar en el futuro. La actividad ‘A todo riesgo’ ha conseguido la formación y concienciación en los riesgos geológicos de más de un millar de personas,

incluyendo público infantil, a través de la observación sobre el terreno de los efectos de inundaciones históricas, cómo se analizan y previenen para que no ocurran en el futuro o minimizar sus consecuencias socio-económicas. Ambas iniciativas constituyen dos experiencias de éxito cuyos resultados han sido evaluados mediante encuestas y galardonadas con múltiples premios y reconocimientos; y que convendría extender a otras localidades y colectivos, con las pertinentes adaptaciones y modificaciones de los objetivos y la dinámica de las actividades.

Agradecimientos

Estas estrategias de educación infantil en el riesgo de inundaciones han sido financiadas por proyectos de investigación que se han sucedido en el tiempo a lo largo de la última década y media: Plan Nacional de I+D+i (RiskGredos, Dendro-Avenidas, MAS Dendro-Avenidas, MARCoNI, DRAINAGE); o financiados por organismos públicos de investigación (GeoRiada y MIDHATO Venero). En los últimos años forman parte, como estrategia de divulgación (GT5.T3), del proyecto de investigación del Plan Nacional de I+D+i DRAINAGE (CGL2017-83546-C3-R MINEICO/AEI/FEDER, UE).

4.2. Análisis del riesgo y respuestas en la planificación

4.2.1. Construcción y validación de índices integrados de vulnerabilidad socioeconómica en zonas afectadas por avenidas súbitas

Estefanía Aroca Jiménez, José M. Bodoque, Juan A. García

Universidad de Castilla-La Mancha

Introducción

Las inundaciones son el peligro natural que más riesgo genera en todo el mundo, causando enormes pérdidas tanto en términos económicos como de vidas humanas. En particular, las avenidas súbitas se consideran las más peligrosas debido a que se generan de forma casi instantánea, limitando significativamente el tiempo de respuesta de la población expuesta y de las autoridades competentes en la gestión del riesgo, incrementando así el impacto potencial [110]. A pesar de los esfuerzos realizados durante las últimas décadas para reducir el impacto de las inundaciones, basados sobre todo en la puesta en marcha de medidas de tipo estructural (por ejemplo, la construcción de presas, diques, motas, etc.), las pérdidas asociadas siguen aumentando debido principalmente al incremento de la exposición y al cambio climático global [311]. Por lo tanto, se hace necesaria la inclusión de la vulnerabilidad en el análisis del riesgo que, tradicionalmente, se centraba exclusivamente en el componente de peligrosidad, con el fin último de mejorar la gestión del riesgo de inundación.

En respuesta a esta necesidad, la comunidad científica ha tratado de mejorar la caracterización de la vulnerabilidad durante los últimos años. La vulnerabilidad se define como las condiciones determinadas por factores físicos, económicos, sociales y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una comunidad a los impactos de una amenaza [297]. Ésta es función de la exposición (toda aquella población y bienes expuestos a experimentar pérdidas potenciales), la susceptibilidad (aquellas deficiencias que determinan la probabilidad de experimentar daños y pérdidas debido a eventos adversos) y la capacidad de adaptación (la capacidad del sistema social para resistir, absorber, hacer frente, adaptarse y recuperarse de dicho evento adverso). Una caracterización completa de la vulnerabilidad requeriría tener en cuenta sus componentes (exposición, susceptibilidad y capacidad de adaptación) y las diferentes dimensiones que la componen (social, económica, física, ambiental e institucional [143]), siendo las dimensiones social y económica las más influyentes en ambientes urbanos [144].

La metodología más empleada hasta ahora para caracterizar la vulnerabilidad es la construcción de índices, ya que permiten cuantificar un concepto abstracto que no puede ser medido directamente y agregar información multitemática en un solo valor [152]. A pesar de

los avances en los últimos tiempos, la caracterización de la vulnerabilidad sigue abordándose de forma fragmentada, es decir, sin considerar todos los componentes y/o todas las dimensiones. Por otro lado, muy pocos trabajos tratan de validar los resultados obtenidos. El enfoque más empleado para validar los índices de vulnerabilidad se basa en el uso de datos independientes asociados a eventos reales ocurridos, como el número de llamadas al servicio de emergencia, el número de muertes provocadas o la cuantía de las pérdidas económicas [38]. Este tipo de enfoque se incluye en lo que se conoce como validación externa. Sin embargo, es muy difícil emplear este tipo de técnicas en áreas urbanas afectadas por avenidas súbitas porque no se suele disponer de información adicional con la que llevar a cabo la validación [86]. Así, una alternativa cada vez más usada es la validación interna de los índices mediante el análisis de la incertidumbre y la sensibilidad, empleando para ello el método de Monte Carlo [87].

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es construir y validar un Índice Integrado de Vulnerabilidad Socioeconómica (ISEVI) en áreas urbanas afectadas por avenidas súbitas de la región de Castilla y León, considerando los diferentes componentes de la vulnerabilidad (exposición, susceptibilidad y capacidad de adaptación) y las dos dimensiones más influyentes en ambientes urbanos (social y económica), con el objetivo de mejorar la gestión actual del riesgo de inundación.

Metodología

La región de Castilla y León es la comunidad más extensa de España, abarcando una superficie de 94226 km². Su relieve consiste en una gran cuenca sedimentaria de elevada altitud (700-1100 m.s.n.m.) rodeada perimetralmente por grandes cordilleras en las que se alcanzan cotas máximas en torno a 2600 m.s.n.m. Estas variaciones altitudinales provocan un elevado gradiente de precipitaciones desde la meseta (precipitación anual en torno a 400-600 mm) hacia la periferia (precipitaciones anuales que pueden superar los 1000-1500 mm). Esta configuración geomorfológica hace que puedan producirse eventos de lluvia muy intensos en estas zonas periféricas que lleguen a desencadenar avenidas súbitas. Por otro lado, Castilla y León tiene algo más de 2,4 millones de habitantes y se encuentra dividida en 2248 municipios, donde el 95% tiene menos de 2000 habitantes y una densidad de población de 7 hab./km², presentando además pirámides de población invertidas. La elevada tasa de envejecimiento junto con el proceso de despoblamiento que estas áreas rurales están sufriendo debido a la falta de oportunidades laborales, provocan que estas zonas se enfrenten a un verdadero reto económico en el futuro para mantener sus infraestructuras y servicios.

Para identificar las áreas urbanas susceptibles a sufrir avenidas súbitas, en primer lugar, se han seleccionado los núcleos de población que están atravesados por cauces con una pendiente longitudinal mayor a 0.01 m/m. Posteriormente, se ha comprobado que estas áreas urbanas estuvieran afectadas por cauces identificados como Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) y por zonas inundables con probabilidad baja o

excepcional (periodo de retorno de 500 años). Un total de 39 municipios cumplieron estos requisitos y fueron incluidos en el análisis de la vulnerabilidad (Figura 32).

Inicialmente se caracterizaron un total de 189 variables consideradas explicativas de la vulnerabilidad socioeconómica de la región de estudio, 71 pertenecientes a la dimensión social y 118 a la dimensión económica. Las variables sociales recogen, por ejemplo, aspectos relacionados con la demografía (población por rangos de edad, proyecciones de población, etc.), la dependencia (tasas de dependencia por sexo, número de discapacitados, etc.) o la atención médica (hospitales y centros de salud más cercanos, tipo de asistencia médica, etc.), entre otros. En el caso de la dimensión económica, se incluyeron aspectos relacionados con la situación laboral (paro, ocupación, etc.) o el desarrollo del municipio (renta per cápita, deuda municipal, etc.), entre otros. Una vez recopiladas las variables, éstas fueron estandarizadas mediante el método de la puntuación z (variables con media = 0 y desviación estándar = 1) y, posteriormente, generando una matriz de correlación, se eliminaron aquellas consideradas redundantes (coeficiente de correlación igual o superior a 0.9), por lo que el número de variables se redujo a 55 para la dimensión social y 31 para la económica.

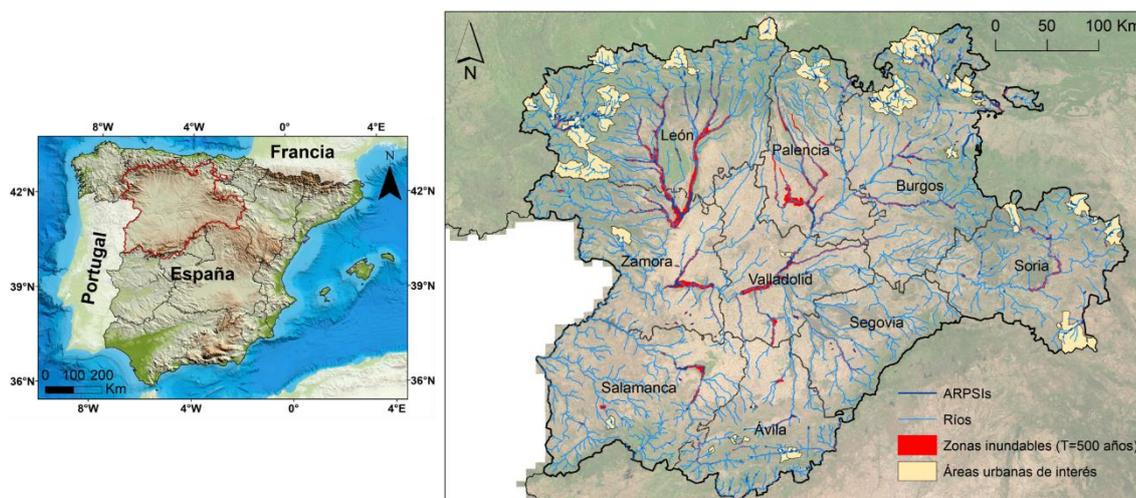


Figura 32: Localización del área de estudio y municipios incluidos en el análisis de vulnerabilidad.

Dado que no se recomienda llevar a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP) cuando el número de unidades de análisis no es, al menos, tres veces mayor al número de variables, el análisis estadístico de los datos se realizó en dos pasos, empleando para ello el software estadístico SPSS (IBM SPSS v.19). En primer lugar, llevamos a cabo un Análisis de Segmentación Jerárquica (ASJ), que es una técnica estadística de análisis multivariante de clasificación automática de datos, cuyo objetivo es dividir el conjunto inicial de variables en grupos más pequeños en función de su similitud. Es decir, las variables que pertenecen al mismo grupo deben ser lo más similares posible, mientras que las variables que pertenecen a grupos distintos deben ser lo más diferentes posible. Aquí se empleó la distancia Euclídea al cuadrado como medida de similitud y el método de Ward como método de agrupación [39]. La salida gráfica del ASJ se denomina dendrograma y permite determinar el número de grupos en los que se van a dividir las variables.

Posteriormente, aplicamos un ACP en cada uno de los grupos de variables. El ACP nos permite reducir el número de variables iniciales mediante la combinación lineal de éstas en lo que se denominan componentes principales o, en nuestro caso, factores de vulnerabilidad, los cuales explican gran parte de la varianza de las variables originales. Se emplearon el estadístico Kaiser-Meyer-Olkin ($KMO > 0.6$) y la prueba de esfericidad de Bartlett's ($p\text{-valor} < 0.05$) para evaluar la idoneidad de llevar a cabo un ACP. El ACP extrae los componentes principales o factores en función de la matriz de correlación entre las variables. Las cargas factoriales muestran la correlación entre los factores extraídos y las variables originales, por lo que altas cargas factoriales indican que una variable se encuentra bien representada por un factor. Por otro lado, la comunalidad evalúa qué parte de la varianza de cada variable es capturada por los factores extraídos. Así, variables con una comunalidad inferior a 0.5 fueron eliminadas del análisis y el proceso de extracción de los factores de vulnerabilidad es repetido hasta que todas las comunalidades están por encima de 0.5. Finalmente, se empleó el método de regresión de mínimos cuadrados para extraer las puntuaciones factoriales, que suponen la desviación estándar con respecto a la media de cada factor de vulnerabilidad, cuyos valores se emplearon posteriormente para construir el Índice Integrado de Vulnerabilidad Socioeconómica (ISEVI).

Los factores de vulnerabilidad fueron asociados a los diferentes componentes de vulnerabilidad en función de las variables que éstos incluían y las puntuaciones factoriales. Así, municipios con una puntuación factorial positiva en un factor de exposición o susceptibilidad son más vulnerables que la media, mientras que los municipios con una puntuación factorial negativa son menos vulnerables que la media. En cuanto al componente de capacidad adaptativa, aquellos municipios con una puntuación factorial positiva son menos vulnerables que la media y los municipios con una puntuación factorial negativa son más vulnerables que la media. Así, el ISEVI se calculó usando la siguiente expresión:

$$ISEVI = (ES + EE) + (SS + SE) - (CAS + CAE) \quad (1)$$

Donde ES y EE son exposición social y económica, SS y SE son susceptibilidad social y económica y CAS y CAE son capacidad de adaptación social y capacidad de adaptación económica. Cada término de la ecuación 1 se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_{CD} = \frac{\sum_{f=1}^n (w_f \cdot S_f)}{\sum_{f=1}^n w_f} \quad (2)$$

Donde V_{CD} es la puntuación de cada componente por dimensión, w_f es el peso asignado al factor n y S_f es la puntuación factorial del factor n . Se ha empleado el estadístico de tolerancia para asignar la ponderación a cada factor de vulnerabilidad, estadístico que se emplea en los análisis de regresión para detectar colinealidad. Así, los factores menos correlacionados con el resto tenían un mayor peso asignado a la hora de construir el ISEVI y aquellos más correlacionados con el resto un menor peso.

Una vez construido el ISEVI, llevamos a cabo el análisis de la incertidumbre y la sensibilidad empleando el método de Monte Carlo. El análisis de la incertidumbre nos ayuda a analizar la robustez de las categorías de vulnerabilidad asignadas a los diferentes municipios, mientras

que el análisis de sensibilidad descompone esa incertidumbre para determinar la influencia de las entradas del índice sobre los diferentes resultados generados [87]. Para ello, primero asociamos una función de distribución de la probabilidad a cada factor de vulnerabilidad, usando el estadístico Anderson-Darling (A^2) para determinar qué distribución se ajusta mejor a las puntuaciones factoriales de cada factor. Así, cada factor de vulnerabilidad original y sus respectivos pesos son caracterizados por los parámetros de las diferentes funciones de distribución ajustadas, siendo estos valores los introducidos en el análisis de Monte Carlo. Tras 21504 simulaciones y habiendo introducido el cálculo del ISEVI como función objetivo (usando las ecuaciones 1 y 2), el método de Monte Carlo ofrece como salida valores simulados del ISEVI. El diagrama de tornado resultante muestra la influencia de las diferentes entradas del índice sobre los valores del ISEVI.

Resultados

Se identificaron un total de 19 factores de vulnerabilidad (Tabla 7). El componente de exposición está caracterizado por 6 factores de vulnerabilidad (22,6% de la ponderación total), 3 relacionados con la dimensión social (5,6%) y 3 con la dimensión económica (17,0%); el componente de susceptibilidad comprende 8 factores de vulnerabilidad (42,1% de la ponderación total), 5 relacionados con la dimensión social (25,0%) y 3 con la económica (17,1%); y, por último, el componente de capacidad de adaptación está compuesto por 5 factores de vulnerabilidad (35,4%), 3 relacionados con la dimensión social (22,9%) y 2 con la económica (12,5%).

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

Tabla 7: Factores de vulnerabilidad identificados. Los porcentajes que se muestran entre paréntesis se corresponden con los pesos asociados a cada elemento al construir el ISEVI.

Variables	Factor	Componente por dimensión	Componente	
Población total				
Centros de salud	Exposición Social Total (0,74%)	Exposición Social (5,60%)	Exposición (22,58%)	
Camas de hospital				
Personal sanitario				
Guarderías				
Centros de educación primaria				
Centros de educación secundaria				
Residencias de ancianos				
Alojamientos turísticos				
Población por área de asentamiento				Exposición en el ambiente urbano construido (2,44%)
Viviendas vacías				
Área construida bajo rasante				
Viviendas principales	Exposición Constructiva (2,42%)			
Viviendas con 1 planta sobre rasante y 1 ó más plantas bajo rasante				
Viviendas con 2 ó más plantas sobre rasante	Ambiente Urbano (7,67%)			
Viviendas situadas en zona inundable				
Calles situadas en zona inundable (metros)				
Transformadores eléctricos situados en zona inundable				
Parques y jardines situados en zona inundable (m ²)				
Centros educativos (guarderías, educación primaria y secundaria) situados en zona inundable		Infraestructuras y Servicios Municipales (7,43%)		
Residencias de ancianos situadas en zona inundable				
Puentes situados en zona inundable				
Protecciones de márgenes situadas en zona inundable (metros)				
Segundas viviendas		Viviendas potencialmente inundables (1,88%)		
Viviendas con 1 planta sobre rasante				
Viviendas con 1 ó más plantas bajo rasante				
Población entre 0 y 4 años	Susceptibilidad Social Juvenil (4,65%)	Susceptibilidad Social (24,95)	Susceptibilidad (42,05%)	
Población entre 5 y 14 años				
Proyección de la población entre 0 y 4 años para 2025				
Proyección de la población entre 5 y 14 años para 2025	Susceptibilidad Social Laboral			
Tasas de desempleo				
Parados de larga duración				

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

Viviendas sin ningún desempleado	(3,78%)			
Población de 65 ó más años				
Proyección de la población de 65 ó más años para 2025				
Tasa de dependencia de hombres	Susceptibilidad Social por Dependencia (2,21%)			
Tasa de dependencia de mujeres				
Viviendas en las que vive alguna persona de 65 ó más años				
Personas que no saben leer y/o escribir				
Distancia al hospital más cercano (kilómetros)	Susceptibilidad Social Hospitalaria (6,00%)			
Tiempo de desplazamiento al hospital más cercano (minutos)				
Distancia al centro de salud más cercano (kilómetros)	Susceptibilidad Socio-sanitaria (8,31%)			
Tiempo de desplazamiento al centro de salud más cercano (minutos)				
Trabajadores en el sector de la agricultura	Pérdidas de empleo potenciales (0,86%)			
Trabajadores en los sectores de industria, construcción y servicios				
Capacidad de los alojamientos turísticos				
Tasa de desempleo		Susceptibilidad económica (17,10%)		
Deuda municipal por habitante (€/habitante)	Situación Económica de los Municipios (4,94%)			
Costes de reposición en las viviendas situadas en zona inundable (€/m ²)				
Edad media del parque móvil	Parque Móvil (11,30%)			
Parque móvil				
Viviendas en buen estado de conservación	Resiliencia Constructiva (11,59)			
Viviendas en mal estado de conservación				
Población entre 15 y 64 años	Resiliencia Social Edad Madura (2,55%)	Capacidad Adaptativa Social (22,89%)		
Proyección de población entre 15 y 64 años para 2025				
Inversiones fijas por habitante	Resiliencia Económica debido a Inversiones (8,75%)	Capacidad adaptativa (35,37%)		
Presupuesto municipal disponible por habitante				
Base imponible del Impuesto de Bienes Inmuebles (miles de euros)	Situación Económica de las Viviendas (3,73%)	Capacidad Adaptativa Económica (12,48%)		
Renta per cápita (€/habitante)				
Viviendas principales				
Inversiones fijas por habitante (€/habitante)	Inversiones Municipales (8,75)			
Presupuesto municipal por habitante (€/habitante)				

Se empleó el método de los quintiles para representar gráficamente los valores del ISEVI y de los diferentes componentes por dimensiones (Figura 33). El gráfico de barras asociado a cada municipio muestra, por un lado, el valor del ISEVI desagregado por componente de vulnerabilidad (exposición, susceptibilidad y capacidad adaptativa; Figura 33A) y los valores de cada componente desagregado por dimensión (social y económica; Figura 33B, C, D). La altura de las barras es directamente proporcional a las puntuaciones factoriales y el sentido de las barras indica si esta puntuación es positiva (valores por encima de la media del factor) o negativa (valores por debajo de la media del factor). Por otro lado, el color de las barras representa la categoría, empleando el método de los quintiles, a la que pertenecen esos valores. En el caso del ISEVI, la exposición y la susceptibilidad, los colores rojos se corresponden con la categoría muy alta, mientras que el color verde con la categoría muy baja. Por el contrario, en el caso de la capacidad adaptativa, el color verde se corresponde con la categoría muy alta y el color rojo con la categoría muy baja. Las áreas urbanas con una alta vulnerabilidad suelen presentar una muy alta exposición y susceptibilidad y una muy baja resiliencia, aunque las combinaciones de estas categorías, como puede verse en la Figura 33, pueden ser muy variadas.

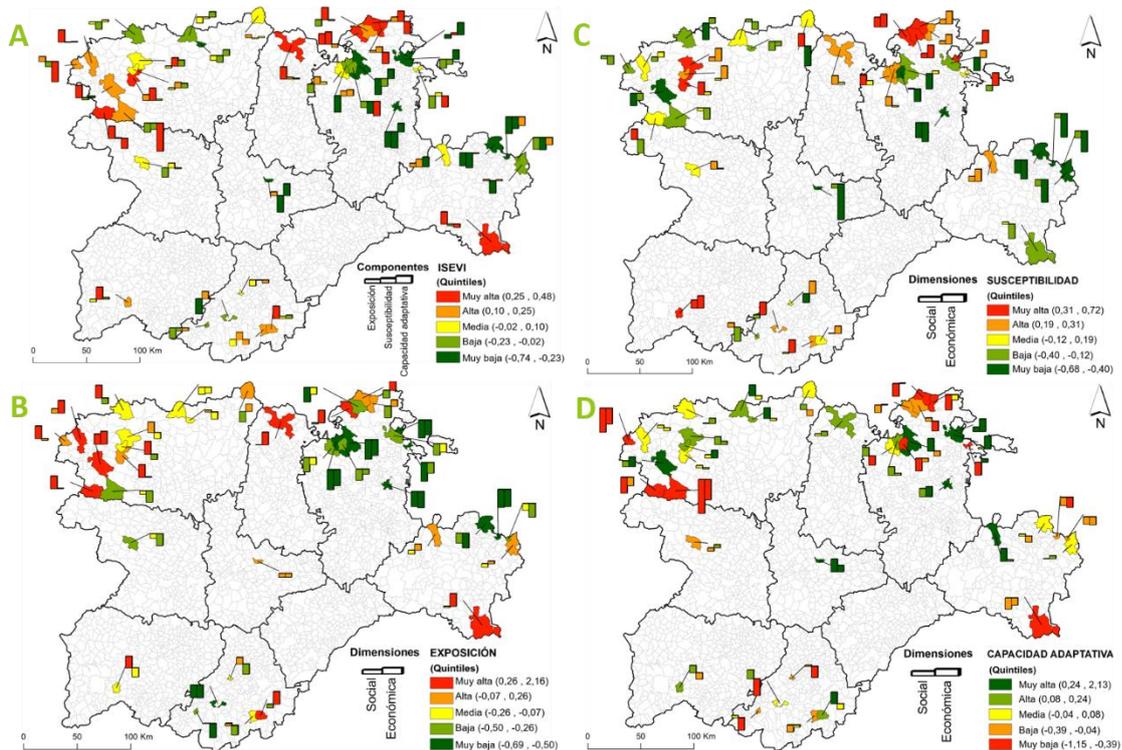


Figura 33: Valores del ISEVI y de los diferentes componentes por dimensión de la vulnerabilidad.

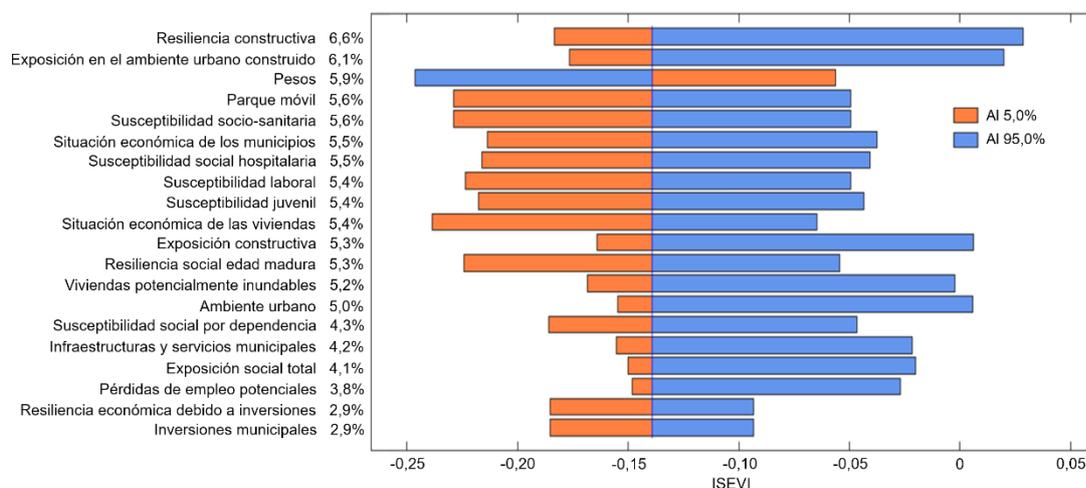


Figura 34: Diagrama de Tornado que muestra la influencia de los factores de vulnerabilidad sobre los valores del ISEVI.

El diagrama de Tornado resultante del análisis de Monte Carlo muestra la influencia de los diferentes factores de vulnerabilidad sobre el valor del ISEVI (Figura 34). Los factores de vulnerabilidad que tienen una mayor influencia sobre el índice se sitúan en la parte superior del diagrama, que son la resiliencia constructiva y la exposición en el ambiente urbano construido, mientras que los factores que tienen una menor influencia se sitúan en la base de este, que son la resiliencia económica debido a inversiones y las inversiones municipales. Además, la longitud de la barra refleja el rango de variación que los factores provocan en los valores del ISEVI, siendo los factores que están en la parte superior del diagrama de tornado los que generan un mayor rango de variación.

Discusión

Una de las principales limitaciones que existen a la hora de desarrollar índices de vulnerabilidad en zonas propensas a sufrir avenidas súbitas es la disponibilidad de datos. Las avenidas súbitas suelen producirse en ríos montañosos, afectando a pequeños núcleos urbanos. La información estadística disponible en este tipo de zonas suele ser limitada y, en ocasiones, difícil de conseguir por razones de confidencialidad relacionadas con el tamaño de la muestra. Por otro lado, la construcción de índices de vulnerabilidad suele implicar el uso del ACP como herramienta estadística para extraer los factores de vulnerabilidad de las variables consideradas originalmente. Sin embargo, pocos trabajos tienen en cuenta la limitación inherente al ACP relacionada con el número de variables incluidas en el análisis con respecto al número de unidades de análisis, optando por agregar directamente las variables o reducir el número de variables inicialmente consideradas. Así, este trabajo presenta una alternativa metodológica para aquellas zonas en las que se presenten las limitaciones mencionadas arriba, lo que puede ayudar a mejorar la robustez de los índices de vulnerabilidad que se desarrollan en áreas urbanas susceptibles a sufrir avenidas súbitas.

Por otro lado, muy pocos trabajos han abordado el análisis de la vulnerabilidad en zonas propensas a sufrir avenidas súbitas y, los que lo hacen, suelen emplear enfoques fragmentados. En decir, estos trabajos no desagregan los valores de los índices de vulnerabilidad por componente o por dimensión, lo que disminuye la información que se puede extraer acerca de la variabilidad espacial de la vulnerabilidad. Esto repercute en que las medidas de reducción de la vulnerabilidad serán más generales y, por tanto, menos efectivas, lo cual puede tener un gran impacto en aquellas zonas con recursos económicos limitados, como pueden ser las áreas urbanas afectadas por avenidas súbitas. En función de los resultados obtenidos en este trabajo (ver Figura 33), podemos ver que las áreas más vulnerables son aquellas que presentan los valores más altos en exposición y susceptibilidad y los más bajos en resiliencia [168]. Además, sabemos que los valores más altos de exposición están controlados por la dimensión económica, principalmente debido a edificios colectivos e infraestructuras urbanas situadas en zona inundable. Los valores más altos de susceptibilidad están controlados por ambas dimensiones, destacando en la dimensión social los factores relacionados con la dependencia y el acceso limitado al sistema sanitario y en la dimensión económica los factores relacionados con las elevadas tasas de paro y la deuda municipal. Finalmente, los valores más bajos de capacidad adaptativa están controlados por la dimensión social, lo cual se debe al pobre estado de conservación de las viviendas y la limitada capacidad económica de las familias. El conocer los resultados con este grado de desagregación permite conocer con más detalle las diferentes fuentes de vulnerabilidad y, por tanto, ayudar a los organismos competentes en materia de gestión del riesgo de inundación a desarrollar estrategias de reducción de la vulnerabilidad más específicas para así mejorar la actual gestión del riesgo [215].

Finalmente, es importante destacar que los trabajos que construyen índices de vulnerabilidad no suelen validar los resultados obtenidos. El no validar los resultados puede provocar que las decisiones que toman los organismos competentes en materia de gestión del riesgo y planificación sean cuestionadas [87]. La metodología más extendida a la hora de validar índices de vulnerabilidad se basa en usar una base de datos alternativa con información sobre algún evento ocurrido, como el número de llamadas al servicio de emergencia o los daños económicos provocados. Sin embargo, es muy difícil aplicar esta metodología en áreas urbanas afectadas por avenidas súbitas porque esta información adicional no suele estar disponible [2]. Además, el ISEVI se desarrolló a escala regional, pero los eventos de avenida súbita se producen a escala local (y no ocurren simultáneamente en toda la región de estudio), por lo que metodológicamente tampoco es correcto emplear información adicional como la descrita anteriormente para validar un índice de vulnerabilidad frente a avenidas súbitas a escala regional. Así, una alternativa puede ser la validación interna del índice de vulnerabilidad, que es el enfoque que en este trabajo se ha empleado. La validación interna no sustituye a la validación con información adicional, pero sí puede suponer un buen indicador de la robustez del índice de vulnerabilidad desarrollado [169]. En base a los resultados obtenidos aquí, los factores de vulnerabilidad sobre los que las estrategias de gestión tendrían que actuar preferiblemente para reducir la vulnerabilidad son los relacionados con la susceptibilidad social (ver Figura 34), ya que son los factores que se sitúan

en la parte superior del diagrama de Tornado. Este enfoque puede ayudar, por tanto, a optimizar la asignación de los recursos económicos de los que se dispone para gestionar el riesgo de inundación, que, como se ha mencionado arriba, pueden ser limitados en contextos rurales.

Conclusiones

Este trabajo presenta la construcción y validación de un Índice Integrado de Vulnerabilidad Socioeconómica (ISEVI), desarrollado en áreas urbanas susceptibles a sufrir avenidas súbitas. El uso de enfoques integrados es esencial para identificar las diferentes fuentes de la vulnerabilidad, lo cual se ha logrado mediante la representación gráfica de los resultados desagregados por componentes y dimensiones, que puede ser muy útil a la hora de diseñar las estrategias de reducción de la vulnerabilidad. Por otro lado, la validación del ISEVI mediante el método de Monte Carlo nos permitió determinar qué información de entrada al índice causa una mayor variabilidad en los resultados y cuantificar esa variabilidad. Esto nos da una idea del grado de consistencia del índice, lo que puede ayudar a los gestores a incluir los resultados del análisis de la vulnerabilidad en las futuras estrategias de gestión del riesgo de inundación.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos DRAINAGE (CGL2017-83546-C3-1-R/AEI/FEDER, UE) del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación y ADaPTAR (SBPLY/17/180501/000416/JCCM/FEDER, UE) de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

4.2.2. Integración de los impactos del cambio climático en los planes municipales

Francisco García Sánchez

Universidad de Cantabria

Introducción

En este apartado abordaremos los aspectos relacionados con la integración de los impactos del cambio climático de ríos y costas en las figuras del planeamiento municipal y cómo puede trasladarse a los documentos urbanísticos las acciones de adaptación necesarias. Entendemos planeamiento municipal a las figuras regladas por las legislaciones de suelo de las comunidades autónomas, cuyo objetivo principal sea la clasificación del suelo y la definición de la estructura general que se haya de adoptar para la ordenación urbanística del término municipal. Igualmente se contempla en este apartado el planeamiento derivado de aquél y las herramientas de gestión establecidas por la normativa urbanística.

El cambio climático ejerce un estrés adicional sobre los municipios con ríos y costas a través de diversas cadenas de impactos como, las intensas sequías e inundaciones, que comprometen los suministros de agua o suponen el colapso de las redes de abastecimiento y saneamiento, así como fenómenos de inundación extrema o; el aumento del nivel del mar y los fenómenos asociados a marejadas ciclónicas con altos coeficientes de pleamar que puedan impactar sobre los ecosistemas, las infraestructuras urbanas, el espacio público y las edificaciones.

La integración de los impactos climáticos de ríos y costas dentro del planeamiento urbanístico no cuenta con una larga tradición. Araos et al. (2016) analizó la incorporación de la adaptación a las estructuras normativas de un gran número de municipios a nivel mundial y sólo el 15% de ellos reportaron alguna iniciativa de integración [8]. Se ha detectado, además, que la falta de flexibilidad del marco normativo estatal impide la posibilidad de integración del fenómeno en la planificación urbana [3], [279]. La flexibilidad en el planeamiento urbanístico y territorial resulta una característica clave en la adaptación al cambio climático, por la propia naturaleza del mismo. En este sentido, diversos autores manifiestan la ineficiencia del modelo de planificación y gestión urbana actuales, por no favorecer la flexibilidad y la innovación en la planificación [248], [252]. Actualmente, la gran mayoría de los municipios se sitúan en una etapa muy inicial del proceso de integración normativa o simplemente no han realizado ningún avance. En este apartado nos aproximaremos al estado actual de la integración normativa del cambio climático en España y abordaremos los aspectos de procedimiento y las estrategias necesarias para la integración de las acciones de adaptación en el planeamiento municipal.

Estado actual de la integración del Cambio Climático en el Planeamiento Municipal

Con la aprobación en 2013 de la Estrategia Europea de Adaptación (cuyo antecedente estatal era el Plan Nacional de Adaptación de 2006, ahora reemplazado por su versión actualizada), las políticas de adaptación en el ámbito urbano y rural han ido implementándose paulatinamente y adquiriendo mayor relevancia en la definición de las determinaciones urbanísticas y de ordenamiento territorial.

En esta dirección, tan solo dos años después de la aprobación del Plan Nacional de Adaptación, la Red Española de Ciudades por el Clima se publica la *Estrategia Local de Cambio Climático* [6], documento de referencia donde se aboga por comprender los impactos derivados del cambio climático e introducirlos en la planificación urbanística. Este aspecto también ha sido reclamado más recientemente por la Agenda Urbana Europea del Pacto de Ámsterdam, la Nueva Agenda Urbana de Naciones Unidas Hábitat III y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y, por último, la Agenda Urbana Española de 2019, que hace especial énfasis en su objetivo estratégico 3 *Prevenir y reducir los impactos del cambio climático y mejorar la resiliencia*, reclamando estrategias dentro de la planificación urbana.

El Plan Nacional de Adaptación 2021-2030 [121] integra, de manera muy acertada, la línea de acción 8.2 que concibe a la planificación urbana como cuestión estratégica para la gestión del cambio climático. Sin embargo, el marco legislativo en materia de ordenación y planificación no ha facilitado esta labor. Las diferentes leyes de suelo de las comunidades autónomas no establecen entre sus determinaciones la identificación de los posibles impactos derivados del cambio climático y una ordenación consecuente con este fenómeno. En este contexto nacional de limitada capacidad de integración en la normativa urbanística, se ha ido avanzando en el conocimiento y la gestión del cambio climático en el planeamiento desde diversos frentes.

La Comunidad Autónoma del País Vasco publica en 2012 el “Manual de Planeamiento Urbanístico en Euskadi para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático” [138] donde se incide en los posibles cambios en la denominación de las clases de suelo atendiendo a las especificidades del fenómeno climático. Posteriormente desde la Federación Española de Municipios y Provincias se presenta el documento “Medidas para la mitigación y la adaptación al cambio climático en el planeamiento urbano” [103] que supone un avance cualitativo en la identificación de estrategias de control de emisiones GEI y algunas de adaptación al cambio climático en el ámbito municipal. Unos años más tarde, la Comunidad Foral de Navarra presentó el documento “Adaptación al Cambio Climático de las Entidades Locales desde el Planeamiento Urbanístico” [89], donde se establece una propuesta de Instrucciones Técnicas de Planeamiento para incorporar criterios de adaptación al cambio climático.

Más recientemente, destaca la creación de una herramienta para el desarrollo y formulación del planeamiento teniendo en consideración los riesgos del cambio climático. Se trata concretamente de la *Herramienta para la Valoración e Integración de los efectos del Cambio Climático en el Planeamiento Urbanístico* de la Diputación de Gipuzkoa [79]. Tomando como

referencia las amenazas climáticas identificadas en la Estrategia Vasca de Cambio Climático Klima 2050, y focalizado, entre otras amenazas, en las inundaciones costeras y fluviales, la herramienta de cálculo permite obtener diferentes resultados de vulnerabilidad en función del escenario de emisiones seleccionado y las medidas de adaptación incorporadas en la planificación del municipio. La información obtenida supone un elemento de interés para el desarrollo de la memoria justificativa del plan, garantizando que las decisiones y estrategias propuestas en el instrumento de planificación vienen avaladas por una adecuada reducción del índice de riesgo o vulnerabilidad.

Como hemos podido comprobar las referencias normativas para la gestión climática dentro del planeamiento son muy escasas, y sólo algunas administraciones se han aventurado a establecer un marco de referencia, a la espera de que las comunidades autónomas avancen en la regulación de sus legislaciones. Si bien algunas comunidades como Baleares han marcado el camino hacia la integración del cambio climático en la planificación urbana (Ley de cambio climático y transición energética de 2019), la aprobación del proyecto de ley homónimo del Gobierno de España [56], sea en su versión actual o con enmiendas, supondrá el espaldarazo definitivo para la integración del cambio climático en el planeamiento. La consideración de los riesgos específicos del cambio climático en las figuras de planificación, como el caso que nos ocupa, obligará a reformular sin demora los reglamentos de planeamiento de las comunidades autónomas, y permitirá que el planeamiento municipal actualice sus determinaciones teniendo en consideración los impactos derivados del clima futuro.

Procedimiento para la integración climática en los planes municipales

El establecimiento de nuevas determinaciones en la planificación urbanística, desde una perspectiva de cambio climático, supone una gran oportunidad para encarar con las mejores garantías el reto que se nos ha presentado con este nuevo fenómeno. Las decisiones que se plasmen en el planeamiento sobre la clasificación y calificación del suelo, así como las normas y ordenanzas urbanísticas aprobadas, serán claves para la definición de las adecuadas respuestas positivas para encarar el cambio climático o, por el contrario, estas podrán acrecentar la vulnerabilidad relacionada con el clima futuro.

Abordar el cambio climático demanda una estrategia de gestión de los planes municipales en tres etapas clave:

- un profundo conocimiento de la variabilidad futura basado en la ciencia climática, con el objeto de identificar los sectores más vulnerables del municipio;
- la definición de un **marco normativo** consecuente con esta variabilidad y;
- la **definición programática y se seguimiento de la ejecución del plan** ajustándose a un razonable horizonte temporal de forma coordinada y participativa con todos los actores públicos y la ciudadanía.

Para el conocimiento de la variabilidad climática futura es imprescindible la obtención de escenarios climáticos regionalizados. A falta de datos *especializados* para los municipios que

aborden un nuevo planeamiento consecuente con los riesgos en ríos y costas, en el desarrollo del análisis de vulnerabilidad pueden ser útiles los escenarios definidos por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) que recogen los valores medios tanto para los modelos de regionalización estadística análogos o de regresión, como los generados por regionalización dinámica CORDEX. En cualquier caso, asumiendo el elevado coste en la generación de estos escenarios, es conveniente que los municipios de forma individual o mancomunada, desarrollen sus propios escenarios y proyecciones climáticas que permitan obtener una cartografía específica de vulnerabilidad al cambio climático para la toma de decisiones.

Superada la fase de evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático y con un documento informativo que integre los cambios globales que pueden afectar al municipio, la formulación del plan municipal debe integrar un marco normativo apoyado en diversas estrategias. Por un lado, aquellas de carácter general centradas en la definición de cambios metodológicos tanto en el proceso del desarrollo del planeamiento como en el seguimiento del plan, así como relacionadas con el contenido del planeamiento urbanístico. Y por otro, la definición de estrategias específicas de carácter sectorial y que tienen incidencia directa sobre la prestación de servicios públicos en el suelo urbano y en el rural, tal y como veremos más adelante.

La introducción de la información obtenida a partir de los escenarios o proyecciones climáticas, y de la cartografía e índices de vulnerabilidad y riesgo generados a partir de aquellas, debe producirse desde las fases iniciales de desarrollo del Plan. Así, la memoria informativa que incorpora el planeamiento municipal y que será la base para la justificación de sus determinaciones, integrará las investigaciones realizadas sobre los impactos específicos derivados del cambio climático que pueden afectar al municipio. Es aquí donde se debe generar una cartografía de impactos con la que se puedan establecer las medidas de adaptación más idóneas (Figura 35).



Figura 35: Integración del Cambio Climático en el desarrollo del plan municipal. (Elaboración propia)

La ordenación de las clases de suelo, usos y actividades que se recogen en la memoria justificativa de los planes de ordenación municipales incorporarán posteriormente las medidas de adaptación necesarias para dar respuesta a los impactos detectados en las fases

previas. Con esta estructura básica de formulación de los planes se garantiza una adecuada respuesta al fenómeno que ha de ser avalada, de forma paralela, por los correspondientes informes de evaluación ambiental estratégica o los estudios de impacto ambiental que sean preceptivos. Conseguimos así, que el plan supere las exigencias de la administración ambiental, a la vez que encara su tramitación con las máximas garantías posibles hasta su aprobación provisional y definitiva.

Algunas experiencias internacionales de integración de los impactos climáticos en la ordenación municipal son muy ilustrativas. Un caso próximo y ejemplar son los cambios normativos establecidos en el planeamiento municipal de Lisboa para integrar la estructura ecológica del municipio. Garantizando la protección absoluta de su red ecosistémica se pretende reducir los impactos de inundación por pluviometría extrema, tan recurrente en la capital lusa. Otro ejemplo de modificación de la normativa, algo más alejado de nuestro marco jurídico, con el objeto de contemplar las zonas inundables, fue la Ley del Senado 1094, titulado *Peril of Flood* del estado de Florida (EE.UU.) que establece la creación de las “Área de Acción para la Adaptación” urbana. Con esta herramienta de gestión [56], el planeamiento municipal acota las áreas de intervención que requieren acciones de adaptación frente a las inundaciones (Figura 36), especialmente con acciones relacionadas con el aumento de la permeabilidad del suelo y en el que la infraestructura verde es decisiva. El caso de Nueva York [57] es especialmente ilustrativo en la integración de los impactos climáticos por subida del nivel del mar. Actualmente la ciudad está desarrollando la *Zoning for Coastal Flood Resiliency Planning for Resilient Neighborhoods* (2019), una ordenanza específica para contrarrestar los devastadores efectos del cambio climático en las áreas costeras del municipio, flexibilizando las estrictas normas urbanísticas (Figura 37). Con esta estrategia, Nueva York asume la incertidumbre y marca unos objetivos claros de control del riesgo, haciendo partícipes a la comunidad mediante una normativa flexible y ajustada a las áreas de riesgo para una mayor resiliencia.



Figura 36: Áreas de acción para la adaptación urbana (Elaboración propia extraído de [56])

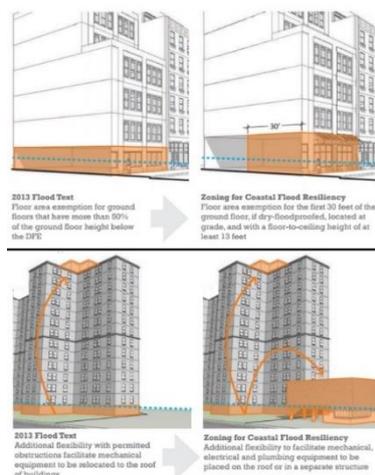


Figura 37: Cambios de ordenanzas municipales. (Elaboración propia a partir de [57])

El entorno natural de los municipios, así como la forma y estructura de sus espacios construidos, son factores relativamente estáticos, pero están sujetos a modificaciones futuras a través de la planificación y la gestión urbana. El incremento e intensidad de las precipitaciones extremas o la propensión a sufrir eventos de inundación debido a la subida del nivel del mar ponen de relieve la necesidad de incrementar el verde urbano y la permeabilidad de los suelos, como hemos podido comprobar en los ejemplos anteriormente expuestos. La plantación de árboles, el desarrollo de parques y pequeños espacios libres urbanos en las áreas afectadas por ríos y costas, así como el uso de superficies pavimentadas que aumenten la permeabilidad del suelo, todas ellas son estrategias necesarias para una mejor gestión municipal en un escenario de clima cambiante.

Complementariamente, se deberá restringir la ocupación de áreas sujetas a los impactos del cambio climático, en especial los sectores afectados por el aumento del nivel del mar y las posibles inundaciones por escorrentía superficial o desbordamientos de ríos, aspectos que tendrán un tratamiento específico dentro de la planificación urbanística a través de posibles estrategias de adaptación generales o sectoriales.

Estrategias de adaptación en el planeamiento municipal para ríos y costas

Las directrices de adaptación se centran en dar respuesta a los posibles riesgos derivados de la acción climática, entre las que se distinguen las estrictamente urbanas y las de carácter municipal o supramunicipal. Se ha de tener en cuenta que, una vez realizado el estudio pormenorizado de las implicaciones que tiene el cambio climático para el municipio, se deberán definir las acciones de adaptación específicas que correspondan a cada caso.

Para los impactos climáticos en ríos con fenómenos extremos de inundación fluvial, la probabilidad recurrente de que se incrementen los episodios de fenómenos tormentosos extremos derivará en inundaciones repentinas que afectarán en mayor medida a los ámbitos urbanos. El planeamiento municipal ha de comprender los aspectos subyacentes derivados del cambio climático y que inciden en el riesgo de inundación como son, los cambios en la vegetación y usos del suelo de la cuenca de inundación, los cambios en la geomorfología, la vegetación de los cauces y de las llanuras de inundación. El planeamiento municipal deberá recoger las Áreas de Riesgo Potencialmente Significativo de Inundabilidad (ARPSIs) previamente identificadas con el objeto de establecer las medidas necesarias de adaptación si se consideraran afectadas por el cambio climático.

En cualquier caso, se ha de tener en consideración que los núcleos habitados en contacto con cursos fluviales deben armarse en el futuro con información explícita de inundabilidad de la cuenca por acción del cambio climático, con el objeto de re-cartografiar adecuadamente sus zonas inundables. Una medida provisional en el proceso de re-cartografiado frente a la vulnerabilidad a inundaciones fluviales, a la espera de obtener escenarios regionalizados, es la de considerar el periodo de retorno a 500 años como el de 100 años. Esta medida está siendo actualmente considerada en la evaluación de riesgos de diversas comunidades autónomas.

Para los fenómenos de inundación – erosión costera por efecto de la subida del nivel del mar, los municipios han de contemplar los aspectos subyacentes, similares a los de inundación fluvial, para la correcta distribución de usos y de clasificación del suelo. En estos casos, las medidas de actuación pueden suponer un mayor impacto en la estructura urbana con estrategias de reordenación del espacio litoral, en el que en situaciones de gran impacto puede llegar a ser necesaria el retroceso de la edificación y la ampliación del espacio libre en el frente costero. Igualmente, las ARPSIs de origen costero deberán actualizarse con las proyecciones climáticas a futuro que oriente, con la mayor precisión posible, el área de penetración de los fenómenos costeros.

Una relación no exhaustiva de las principales estrategias de carácter general (Tabla 8) para integrar la variable del cambio climático dentro del proceso de planeamiento, se presenta a continuación. Estas estrategias tienen un marcado carácter metodológico con el objeto de modificar las pautas de planificación habituales en nuestro marco jurídico.

Tabla 8: Estrategias generales de adaptación en el planeamiento municipal

Carácter	Estrategia
Directrices generales de carácter metodológico	Delimitar gráficamente los sectores urbanos más vulnerables y las zonas de riesgo basado en la estimación de escenarios de Cambio Climático.
	Contemplar los escenarios de cambio climático para dimensionar y ubicar las diferentes clases de suelo, establecer las calificaciones más apropiadas y definir los sistemas generales y locales de espacios libres y dotaciones que den una respuesta efectiva frente a los posibles impactos.
	Clasificación de las zonas de riesgo con figuras específicas de adaptación para la renovación o traslado de edificaciones situadas en sectores vulnerables utilizando para ello nuevas determinaciones como áreas específicas o de reforma interior en suelo urbano
	Delimitar unidades o ámbitos de actuación específica a aquellos sectores identificados como vulnerables a la subida del nivel del mar o que puedan sufrir procesos de erosión o retroceso de la línea de costa.
	Designación de usos compatibles con los riesgos identificados en los análisis de cambio climático (espacios libres, recreación y deportivas).
	Delimitar y clasificar como fuera de ordenación los sectores urbanos consolidados que queden incorporados en las nuevas áreas de riesgo climático y establecer las pautas de gestión para la transformación de los mismos con usos menos sensibles.
	Desarrollar en las normas urbanísticas ordenanzas destinadas a la captación y aprovechamiento de las aguas pluviales en las edificaciones y la urbanización.
	Desarrollar un conjunto de indicadores objetivo y parámetros de referencia para evaluar y diagnosticar la situación en los sectores afectados por impactos climáticos y medir de forma adecuada las mejoras adaptativas introducidas [112].

Fuente: Elaboración propia

De forma combinada se presentan a continuación algunas de las estrategias de adaptación en el medio urbano y rural para la integración de los impactos de cambio climático en el planeamiento municipal. En el ámbito urbano Tabla 9, la medida principal propuesta es la de desarrollar delimitaciones de suelo afectado por los impactos que permitan remitir estas áreas a figuras de planeamiento especial, bien áreas de actuación específicas o de reforma interior, donde se establezcan de forma pormenorizada las pautas de actuación adaptativas.

En el ámbito rural (Tabla 10), la prioridad de las acciones debe ser la conectividad ecológica y la protección de los cursos fluviales y los ecosistemas costeros. Las estrategias de incorporación de las medidas de adaptación en el planeamiento deben ser recogidas en nuevas clases de suelo protegido con características específicas relacionadas con el cambio climático.

Tabla 9: Estrategias de adaptación en el medio urbano

Carácter	Estrategia
Directrices en el medio urbano	Incorporación de normativa específica que permita la regulación de usos en planta baja en zonas de inundación o criterios de modificación de estructuras para permitir el flujo de caudales de inundación.
	Delimitación Unidades de Actuación o ámbitos de Renovación Urbana para la adaptación en zonas afectadas por posibles impactos climáticos.
	Establecer técnicas de transferencias de aprovechamiento u otras, mediante convenios o concesiones, para aumentar la disponibilidad de suelo para espacio libre en las áreas afectadas por ríos y costas.
	Clasificación de infraestructura verde y azul como recurso ante inundaciones.
	Establecer ratios de permeabilidad en la ejecución de nuevos desarrollos urbanos y aumentar la misma en los núcleos urbanos construidos como estrategia adaptativa frente a inundaciones.
	Recuperación de suelos industriales o de otras actividades obsoletos, estableciendo en la normativa las pautas necesarias de descontaminación y transformación en espacios libres con elevada proporción de suelo permeable.
	Dimensionar y ubicar los Espacios Libres sin exposición al riesgo para que sirvan como áreas de asistencia y refugio en zonas próximas a sectores que puedan sufrir impactos.
	Estrategias de drenajes urbanos sostenibles con el fin de aumentar la permeabilidad del suelo.
	Ejecución de obras de infraestructura defensiva frente a inundaciones, primando el empleo de medidas basadas en los ecosistemas y la dinámica fluvial u oceánica-marítima.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Estrategias de adaptación en el medio rural

Carácter	Estrategia
Directrices en el medio rural	Recuperar los ámbitos de protección en riberas de ríos y arroyos incrementando el arbolado y la gestión adecuada de los márgenes fluviales.
	Estrategias de revegetación y naturalización de infraestructuras lineales, con la definición de áreas de protección para el control de impactos climáticos.
	Identificación de usos del suelo basado en ecosistemas (AbE) minimizando los riesgos derivados del cambio climático (escorrentías, erosión...) y establecer acciones para la interconectividad ecológica municipal.
	Mantener en un estado lo más natural posible la dinámica hidráulica fluvial como garante de una gestión adecuada frente a inundaciones repentinas, evitando la construcción innecesaria de motas, canales, represas, etc.
	Identificar y establecer programas de reforestación o de recuperación de zonas agrícolas en áreas susceptibles de erosión y deslizamientos, así como áreas costeras, los espacios dunares y las playas.

Fuente: Elaboración propia

Además de las estrategias señaladas en las tablas anteriores, el planeamiento deberá profundizar sobre algunos sectores sensibles de los municipios. La experiencia internacional muestra, de forma recurrente, que el cambio climático, en municipios con ríos y costas, genera impactos significativos en cinco sectores críticos: el abastecimiento de agua; la infraestructura de saneamiento y de pluviales y el tratamiento de aguas residuales; el sector energético; el sistema de transporte urbano; y el sistema de salud pública [251].

A lo largo del desarrollo del planeamiento municipal se ha de comprender la naturaleza y escala de los impactos que puede sufrir cada uno de estos sectores. Esto favorecerá el establecimiento de determinaciones específicas que permitan desarrollar políticas urbanas concretas y estrategias de adaptación y mitigación con el objeto de garantizar una mayor resiliencia urbana.

Conclusiones y consideraciones finales

El planeamiento municipal encara una nueva etapa con la necesaria integración del cambio climático en sus determinaciones. Los cambios que sobre el clima futuro muestran los escenarios, así como, los impactos esperados ponen en cuestión las fórmulas tradicionales de planificación encorsetadas por las inflexibles legislaciones de suelo de las comunidades autónomas. Sin duda, el desarrollo de un planeamiento integrador que contemple desde el inicio de su formulación la variable del cambio climático, supondrá una oportunidad de transformación del proceso de planificación. La integración de los impactos derivados del

cambio climático, y en especial los específicos de ríos y costas, requiere, al menos, tener en consideración las siguientes premisas:

- Contemplar de manera obligada una información climática de máximo rigor, con el menor grado de incertidumbre posible, y con escenarios de evolución regionalizados del clima futuro.
- Considerar la exposición al cambio climático en el proceso de toma de información municipal, desarrollando mapas específicos como elementos básicos para la toma de decisiones.
- Evaluar el *Índice de Vulnerabilidad* por barrios o sectores urbanos, así como el futuro suelo urbanizable que incorpore indicadores de sensibilidad social, económica y ambiental, teniendo en cuenta la capacidad adaptativa del municipio (capacitación sobre cambio climático, planificación sectorial climática, planes de emergencia, etc.).
- Incorporar el suelo no urbanizable de protección y el rústico como áreas susceptibles de ser impactadas por riesgos asociados a inundaciones, estableciendo las medidas de adaptación más apropiadas en estos entornos con menor presión antrópica.
- Introducir las determinaciones necesarias en el planeamiento urbanístico que permita gestionar de forma adecuada y flexible los retos inherentes del cambio climático.
- Considerar la creación de áreas de actuación en suelo urbano mediante *Planes Especiales de Reforma Interior* que den respuesta a las necesidades de adaptación urbana frente a los impactos.
- Enfocar desde una perspectiva climática los sistemas generales y locales de espacios libres con el objeto de convertir la infraestructura verde y azul en recursos básicos para adaptarse a las condiciones cambiantes impuestas por este fenómeno.
- Introducir las variaciones necesarias en las normas urbanísticas que permitan la adecuación de la edificación a las condiciones de impacto derivadas del cambio climático en ríos y costas.
- Establecer un marco de indicadores relacionados con estos impactos, así como parámetros de referencia dentro del plan, con el objeto de identificar de forma rápida los posibles puntos de conflicto y determinar las mejores estrategias de acción.

Por último, para una ejecución del planeamiento urbanístico consecuente con el cambio climático y en especial con los posibles impactos en municipios con ríos y costas, se requiere de una adecuada capacitación del personal administrativo adscrito a las unidades técnicas de planificación, como últimos gestores y garantes del planeamiento municipal. Sin la adecuada formación y comprensión del fenómeno, difícilmente podrá llevarse a cabo las correctas medidas de adaptación.

Los cambios normativos que se prevé en los próximos años auguran, sin lugar a dudas, una nueva forma de concebir y desarrollar el planeamiento municipal. En la redacción de los planes municipales se deberá contemplar desde su inicio, el fenómeno del cambio climático, identificando de manera certera los sectores más susceptibles de ser impactados. Sin duda, a la compleja tarea de integración de los elementos estratégicos de cada municipio, se añade

ahora la información ofrecida por la ciencia climática que será decisiva en la definición de las áreas vulnerables y en las implicaciones que sobre las determinaciones del planeamiento imponga. Además, la variabilidad del fenómeno del cambio climático implica un alto grado de incertidumbre que deberá ser gestionado de manera eficiente por los equipos redactores en primera instancia y, posteriormente, por los técnicos municipales responsable de la gestión del planeamiento municipal.

4.2.3. Incorporación de los riesgos naturales en la planificación territorial

Jorge Olcina Cantos

Universidad de Alicante

Introducción

España es un territorio europeo con elevado riesgo de inundación debido a la combinación de una alta peligrosidad natural y un grado intenso de ocupación del territorio en múltiples áreas, especialmente en zonas costeras, donde desembocan los cursos fluviales, y las riberas de ríos del interior peninsular. Las actuaciones para disminuir el riesgo de inundación han experimentado un cambio significativo en las dos últimas décadas. De la apuesta, casi única, por las medidas estructurales (obras de infraestructura hidráulica) puestas en marcha tras la ocurrencia de algún episodio de efectos catastróficos, se ha pasado a la aplicación de medidas de menor impacto ambiental y con efectos más eficaces y con menor coste económico a medio y largo plazo (planificación territorial, educación y comunicación para el riesgo). Sin olvidar las acciones de gestión de la emergencia en las que nuestro país destaca en el contexto internacional.

El presente trabajo aborda las acciones para la reducción del riesgo de inundaciones en España basadas en la planificación territorial de escala regional. Se trata de una medida de aplicación reciente en nuestro país que comienza a dar resultados de gran interés para la aminoración de la exposición y vulnerabilidad en áreas con elevada peligrosidad. Y que encuentra un aliado idóneo en la cartografía de inundaciones que se ha convertido en todo el estado español, desde 2008, en el documento de acreditación jurídica del riesgo; sin olvidar que algunos años antes ya existían mapas oficiales de riesgo de inundación en algunas Comunidades Autónomas.

La planificación territorial en España cuenta con dos ámbitos administrativos principales: la escala local (municipal), que desarrolla las actuaciones urbanísticas reguladas normativamente (Ley del Suelo como pieza fundamental); y la escala regional, donde las Comunidades Autónomas llevan a cabo acciones de ordenación del territorio (legislación y planes) en relación con la competencia en esta materia otorgada por la Constitución Española de 1978.

Desde los años noventa del siglo pasado, con el desarrollo del Estado de las Autonomías, se han ido desarrollando diversas experiencias de reducción de los riesgos naturales mediante la ordenación del territorio. Estas acciones se pueden organizar del siguiente modo:

- Elaboración de normativas (leyes, decretos) de ordenación del territorio
- Elaboración de planes de ordenación del territorio integrales o sectoriales (de escala regional y/o subregional) que incluyen tratamiento de los riesgos naturales.

- Elaboración de planes de ordenación del territorio sectoriales que abordan el tratamiento de los riesgos naturales de forma específica.

La Ordenación del Territorio es la “expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad. Es a la vez una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque multidisciplinario y global, cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector” (Carta Europea de Ordenación del Territorio, 1983). De manera que todo proceso de ordenación del territorio integra una acción administrativa (generalmente pública) que se rige por una normativa legal específica y una reflexión científico-técnica donde se abordan las propuestas para mejorar el estado del territorio.

Un aspecto esencial de la ordenación del territorio es su condición de proceso escalar, de manera que las escalas de trabajo inferiores (local) deben incorporar las determinaciones de planificación territorial que se contengan en leyes y planes de escala superior (estatal, supra-estatal). Y ello teniendo en cuenta la organización político-administrativa de los estados y la titularidad principal de la competencia de ordenación del territorio que en España corresponde a las Comunidades Autónomas. La escala local, por su parte, tiene reconocidas las competencias de planificación urbana y la elaboración de planes para desarrollar este fin.

Si se tiene en cuenta la necesidad de ir adaptando en cada momento la ordenación territorial a la dinámica socioeconómica y ambiental de los territorios, hay un proceso actual que va a determinar la planificación territorial en los próximos años: el proceso actual de cambio climático. El calentamiento de la atmósfera terrestre y sus efectos previstos -ya manifestados- en los cambios de temperaturas y precipitaciones y en la alteración de la circulación atmosférica va a condicionar la planificación del territorio que debe convertirse en una herramienta eficaz de adaptación al cambio climático. Uno de los aspectos más destacados de la evolución climática futura en España que debe incorporarse a la planificación territorial es el incremento de eventos extremos relacionados con la precipitación. En realidad, ya se experimenta un aumento de los episodios de lluvia intensa que originan inundaciones, con elevados daños especialmente en áreas urbanizadas. Sin olvidar los efectos que el calentamiento climático está teniendo en zonas costeras por la subida del nivel del agua del mar y que va a condicionar actuaciones territoriales en las áreas litorales durante las próximas décadas.

Dos nuevos elementos se han incorporado a la planificación territorial de los países europeos en las últimas décadas. Por un lado, el paisaje, que se ha ido convirtiendo en un instrumento operativo a la hora de establecer nuevos usos en el territorio. Los principios contenidos en el Convenio Europeo del Paisaje de 2000 han sido integrados en las normativas urbanísticas y del territorio de los países y regiones de la Unión Europea. Las “unidades paisajísticas” han pasado a ser un objeto de trabajo principal en los estudios de sostenibilidad ambiental. Por otro lado, la infraestructura verde territorial, como instrumento básico e inicial de todo proceso de planificación. La infraestructura verde debe contar en los procesos de planificación territorial como herramienta cartográfica principal, a partir de la cual se determinan los suelos a conservar y mantener en su estado actual -con sus distintos niveles

de protección-, y se ordenan los nuevos crecimientos urbanísticos o de infraestructuras y equipamientos que pretenden mejorar el orden de cosas existentes en un espacio geográfico, La confianza depositada en las supuestas capacidades de resistencia y control de la naturaleza por medio de actuaciones estructurales (presas, canalizaciones, etc.), favoreció, de un lado, la promoción de la agricultura de regadío en territorios climáticamente poco aptos, y de otro, la integración forzada de los tramos finales de cursos fluviales y la usurpación de sus lechos de inundación en áreas urbanas, con los problemas posteriores añadidos que eso implicó [233]. Esto ha sido especialmente intenso y acusado en muchos espacios litorales del mundo, que concentran gran parte de la actividad económica y de los principales asentamientos urbanos de nuestro planeta.

El desarrollo de grandes eventos de inundación ha condicionado, normalmente, la implantación de medidas basadas en la obra de infraestructura hidráulica (encauzamientos, presas de contención y laminación de avenidas). Las sociedades han asumido, tradicionalmente, que este tipo de obras solucionaba definitivamente el problema de las inundaciones y generaban un beneficio político, a corto plazo, para los gobiernos que las desarrollaban.

Afortunadamente, la política de inundaciones en los países desarrollados parece estar evolucionando desde acciones únicas, de carácter estructural, hacia la incorporación del enfoque de "rango de elección", desarrollado por Gilbert White a mediados del pasado siglo. Es decir, el control de inundaciones puede ser eficaz en algunos casos, pero también otras acciones como el desarrollo de sistemas de alerta y planificación de emergencias, la adaptación del entorno construido a los niveles de inundación, la planificación del uso del suelo del seguro contra inundaciones. En Europa, la Directiva de Inundaciones de 2007 ha sido fundamental para impulsar un enfoque no estructural en la solución al problema de las inundaciones. En algunos casos, este enfoque incluye la necesidad de recuperar el territorio fluvial, esto es, del espacio natural de los ríos en las áreas con riesgo de inundación (Figura 38).

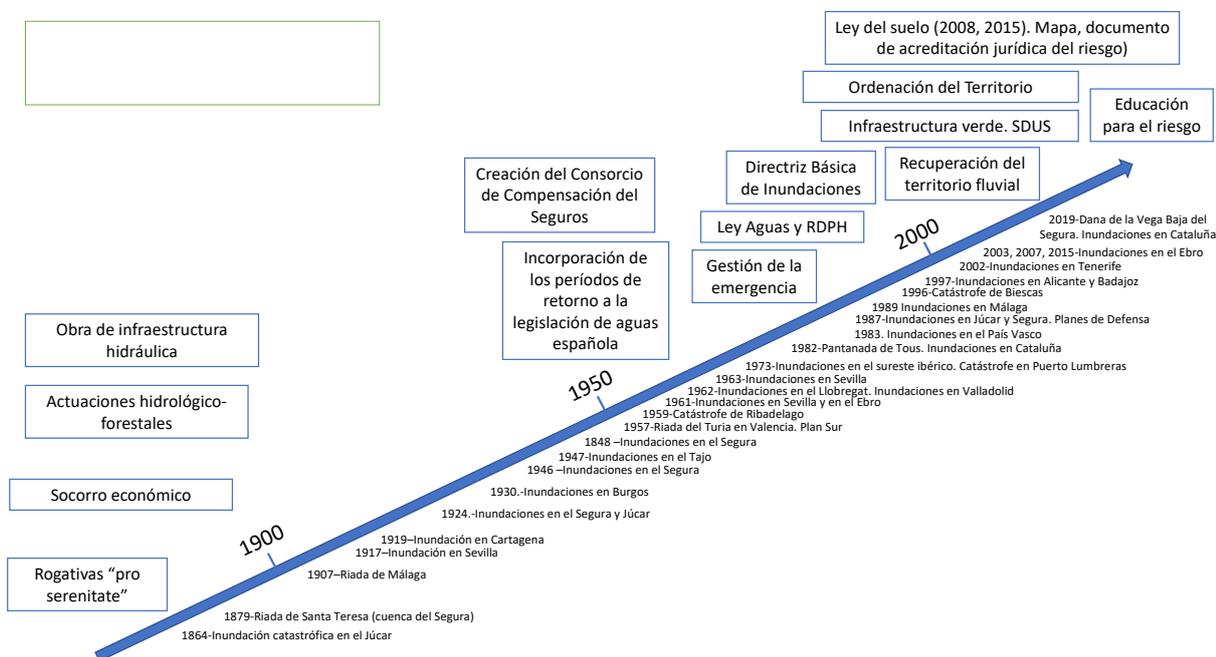


Figura 38: Evolución de las políticas y acciones para la reducción del riesgo de inundaciones en España (ss. XIX-XXI). Elaboración propia.

La última fase en la evolución de las acciones y políticas de reducción del riesgo de inundaciones es el desarrollo de educación para el riesgo en la sociedad. Una educación que debe estar adecuada a cada grupo de edad y a cada territorio y debe basarse en la enseñanza de mensajes ciertos. Las medidas para la reducción del riesgo no son excluyentes. Cada una está orientada a proporcionar solución para los diferentes componentes del riesgo (peligrosidad, vulnerabilidad y exposición), para las diversas escalas espaciales y para el tiempo de generación del problema de inundaciones (pasado, presente o futuro). La ordenación del territorio proporciona soluciones para la vulnerabilidad y exposición del riesgo de inundaciones; se adapta a todas las escalas de planificación; y es una solución de presente y de futuro, con menores posibilidades para solucionar problemas creados en el pasado (ocupación indebida de áreas inundables).

Descripciones y resúmenes de las principales políticas y bases jurídicas

Las Comunidades Autónomas tienen asignadas las competencias en materia de ordenación del territorio. Están obligadas a elaborar leyes y planes de planificación territorial. Y, asimismo, son las encargadas de ratificar la aprobación de los planes urbanísticos municipales, lo que supone asumir las determinaciones contenidas en la legislación del suelo elaborada por el Estado. Esto último ha supuesto, por lo común, la aprobación de leyes autonómicas del suelo, en ocasiones reunidas en un único texto junto a las normas de ordenación territorial, que debe adaptar el texto estatal a la escala regional objeto de aplicación.

Junto a las normas de ordenación territorial, se han incorporado otras a la legislación española, no estrictamente territoriales o urbanísticas, pero de gran relevancia para la reducción del riesgo de inundaciones porque deben tenerse en cuenta en los procesos de planificación territorial (Figura 39).

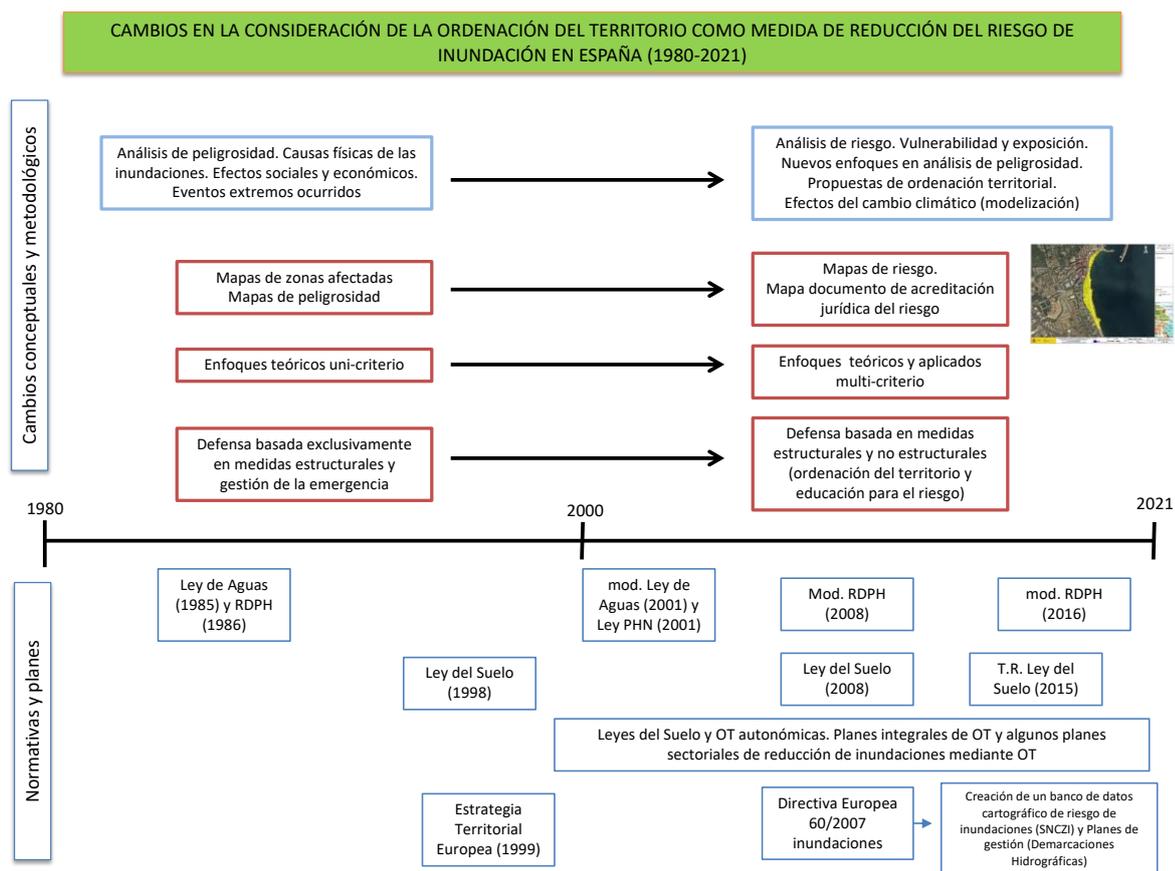


Figura 39: Cambios en la consideración de la ordenación del territorio como medida de reducción del riesgo de inundación en España (1980-2021). Elaboración propia.

Se trata de la Directiva 60/2007 de gestión de inundaciones y de la modificación del Reglamento de Dominio Público Hidráulico en 2008 y 2016. La promulgación en 2007 de la Directiva Europea de Inundaciones (60/2007 CE) ha supuesto una reestructuración del procedimiento de prevención, evaluación y gestión de las inundaciones en todo el territorio español. La trasposición de la Directiva al ordenamiento jurídico estatal se produjo a través del Real Decreto 903/2010. El cumplimiento de esta Directiva ha supuesto la elaboración de una cartografía estatal de riesgo de inundación, previa selección de unas áreas de evaluación preliminar del riesgo. El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas inundables (SNCZI) permite tener una base cartográfica común en todas las regiones españolas para su uso en actuaciones territoriales. La realización y gestión de esta cartografía ha correspondido a las entidades hidrológicas de planificación (Demarcaciones Hidrográficas). Debe recordarse que algunas CC.AA disponían previamente de mapas oficiales de inundación elaborados con criterios diferentes. La jerarquía jurídico-administrativa obliga al manejo prioritario de los

mapas del SNCZI en todo el territorio español, salvo que un área no esté cartografiada en dicho servidor de mapas y en ese caso, se pueden manejar los mapas elaborados por las CC.AA. si los hay.

En el ámbito normativo español, la Directiva Europea inspiró, en un primer momento, el *RD 9/2008 de modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico*, que establece los límites del DPH, y añade la posibilidad de extender la zona de policía a la denominada zona de flujo preferente. Fija igualmente los criterios para la delimitación de la zona inundable (avenida de periodo de retorno de 500 años), e incorpora a la hora de delimitar en el espacio las distintas zonas de riesgo criterios geomorfológicos y basados en eventos históricos, además de los ya habituales métodos basados en modelos hidrológico-hidráulicos.

El último eslabón importante en este sentido ha sido la promulgación del RD 638/2016, por el que se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, y donde se contiene novedades importantes para la consideración y tratamiento del riesgo de inundaciones en la planificación territorial. Destacan, al respecto, los siguientes aspectos:

- Uso de fuentes y métodos hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos, fotográficos, cartográficos e históricos para delimitar el Dominio Público Hidráulico, sus áreas de influencia y las zonas inundables.
- La “zona de policía” (100 m. a ambos lados del cauce) puede ampliarse a la “Zona de Flujo Preferente” (prohibición y limitación de usos, según estado del suelo (rural o urbanizado).
- En las edificaciones en zona de flujo preferente o en zona inundable, el promotor deberá aportar “Declaración de responsabilidad” y “Certificado de inscripción en el Registro de la propiedad”.
- La “zona inundable” (período de retorno de 500 años) pasa a delimitarse además de con criterios hidrológicos, con elementos geomorfológicos e históricos también.
- El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, derivado de la adaptación de la Directiva 60/2007 ha supuesto una labor importante de colaboración con administraciones autonómicas y locales. Se obliga a la publicidad de su existencia y consulta pública.

Las determinaciones establecidas por estas normativas, no “territoriales”, deben incorporarse en la elaboración de mapas y acciones incluidas en los planes de ordenación del territorio, a diversa escala, para favorecer la reducción del riesgo de inundaciones.

No obstante, desde el año 2000, momento que puede establecerse como umbral para la consideración de la sostenibilidad en los procesos de ordenación territorial en España, no son muchos los ejemplos de normas y planes que de forma específica se hayan desarrollado en nuestro país para reducir el riesgo mediante ordenación del territorio. La

Tabla 11 presenta un resumen de las actuaciones desarrolladas en esta cuestión.

Tabla 11: Actuaciones de ordenación del territorio para la reducción del riesgo en las Comunidades Autónomas (situación en 2021)

Acción	Resultado
<p>Existencia de legislación de OT con referencia a los riesgos naturales</p>	<p>Todas las CC.AA. Más detallado en aquellas Comunidades con legislación de OT posterior a 2008. Curiosamente, la Ley de OT del País Vasco (1990) no incluye mención a los riesgos naturales, pero ha desarrollado planes de OT integrales y sectoriales con posterioridad. La Ley del Suelo vasca de 2014 sí incluye referencia a los riesgos naturales. Cataluña tampoco incluye referencia a los riesgos naturales en su ley de Política Territorial (1983), pero el Anteproyecto de Ley del Territorio (2017), aún no aprobada, si la incluye. La Ley de Medidas de Política Territorial de Madrid (1995) solo alude al riesgo de erosión. La Ley Canaria de 2017 lleva por título del Suelo y de los Espacios Naturales Protegidos, pero incluyen determinaciones sobre ordenación del territorio y menciona la cuestión de los riesgos naturales. La Ley Balear de Ordenación del Territorio (2000) no incluye referencia a los riesgos naturales, pero si la Ley de Directrices de Ordenación Territorial (1999)</p>
<p>Existencia de Planes de OT integrales de escala regional con referencia a los riesgos naturales</p>	<p>Todas las CC.AA. tienen elaborado Plan de OT integral de escala regional menos: Murcia, Madrid, Castilla-La Mancha, La Rioja, Extremadura.</p> <p>Están en fase de aprobación el PROT de Cantabria, las DROT de Asturias</p> <p>El tratamiento de los riesgos naturales es más completo en planes aprobados a partir de 2010. Por lo general, se aborda básicamente el tratamiento de las inundaciones en apartados generales de riesgos naturales.</p>
<p>Existencia de planes sectoriales o normativa específica de reducción del riesgo de inundación mediante ordenación del territorio</p>	<p>Sólo han abordado documentos y normas específicas de reducción del riesgo de inundaciones mediante planificación territorial las siguientes Comunidades Autónomas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cataluña • País Vasco • Comunidad Valenciana • Andalucía • Baleares • Murcia (en fase de elaboración) <p>Estos planes suelen incorporar cartografías de riesgo que se pueden consultar en servidores web regionales.</p>

Fuente: Legislación y planes de Ordenación del Territorio de las CC.AA. Elaboración propia.

Es de notar que en normas y planes del suelo y de la ordenación del territorio aprobadas con anterioridad a 2008 y vigentes aún en diversas Comunidades Autónomas tienen un tratamiento muy somero del tema de los riesgos naturales que reproducen, apenas, lo señalado por la anterior Ley del Suelo de 1998. Como sabemos esta norma contemplaba la clasificación como suelo no urbanizable para aquellos que tuvieran riesgo natural acreditado, sin aclarar el procedimiento de acreditación. De manera que esta determinación no tuvo efecto real.

Un dato importante es que, en los últimos años, con arreglo a lo establecido en normal y planes territoriales de escala regional, se han producido sentencias judiciales en diferentes regiones españolas que han frenado los intentos de ocupación con usos urbanos o infraestructuras de áreas inundables, atendiendo a lo establecido en las cartografías oficiales existentes. El mapa está actuando, afortunadamente, como un documento de acreditación jurídica del riesgo.

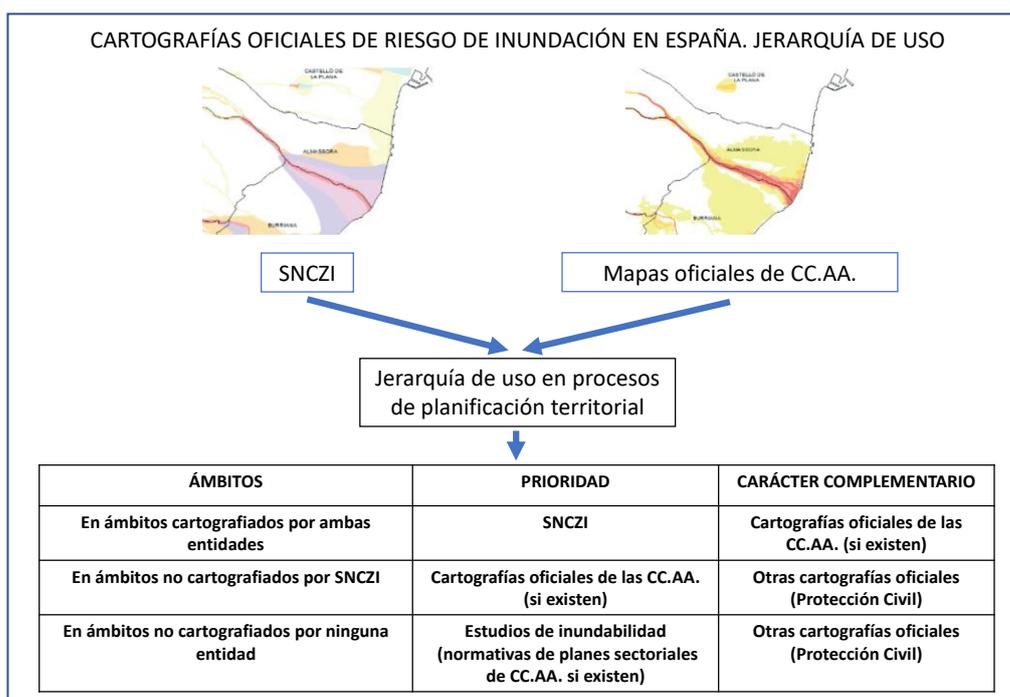


Figura 40: Cartografías oficiales de riesgo de inundación en España para la planificación territorial. Elaboración propia.

El desarrollo del SNCZI ha permitido tener un sistema cartográfico del riesgo de inundaciones para el conjunto del territorio español, cubriendo la falta de mapas de riesgo de inundaciones en numerosas regiones españolas existente hasta este momento. Debe indicarse que en aquellas regiones que cuentan con cartografía propia de riesgo de inundación, la prioridad jerárquica en el uso de mapas de riesgo corresponde al SNCZI, y sólo en aquellas áreas que no estén cartografiadas en este portal cartográfico es de aplicación los mapas elaborados por los organismos regionales (Figura 40).

Necesidades jurídicas

En España, como se ha señalado, tenemos aparato normativo suficiente para la reducción del riesgo de inundación a partir del manejo de la ordenación del territorio. El cumplimiento efectivo de las indicaciones de estas leyes autonómicas de ordenación del territorio y urbanismo -estas últimas adaptadas a la Ley del Suelo estatal de 2015- o de los planes territoriales (integrales o sectoriales) elaborados en las dos últimas décadas debería suponer una reducción progresiva de la vulnerabilidad y exposición ante el peligro de inundaciones. Sin olvidar que el escenario climático futuro, con el previsible incremento de episodios de lluvias intensas, puede condicionar modificaciones en estas normativas y planes para endurecer las determinaciones actuales en materia de reducción del riesgo de inundaciones mediante ordenación del territorio.

La planificación territorial para la reducción del riesgo soluciona conflictos territoriales, presentes y futuros, que surgen por la implantación de usos en suelos que presentan peligrosidad elevada. Y puede establecer determinaciones para solucionar la existencia de áreas de riesgo generadas en el pasado, aunque sus efectos sólo sean visibles a largo plazo.

No obstante, de la aplicación de las normativas y planes aprobados y vigentes en el territorio español, se manifiestan desajustes y necesidades de mejora para conseguir un mayor efecto en la reducción del riesgo natural mediante planificación territorial. Para ello se señalan las siguientes recomendaciones:

- Seguimiento real del cumplimiento de normativas y planes existentes por parte de la administración regional y local. Establecimiento de sistemas de indicadores para comprobar el grado de desarrollo de las acciones para la reducción del riesgo de inundaciones y, con una visión más amplia, para la adaptación al cambio climático establecidas en los planes territoriales.
- En este sentido, es urgente la necesidad de coordinación de políticas territoriales de las Comunidades Autónomas por parte del Estado. Debe activarse el trabajo de una Comisión de Planificación Territorial Sostenible desde el gobierno central, que integre a responsables de planificación territorial de la escala regional, y a expertos-científicos en la materia.
- Revisión de calidad de la cartografía de riesgo de inundación. Elaboración de un reglamento técnico para la elaboración de cartografía de riesgos naturales, en cumplimiento de lo establecido en el art. 22 de la Ley del Suelo 2015. Deben definirse de forma precisa los criterios de representación cartográfica y las escalas de trabajo necesarias para su empleo en la planificación territorial por tipologías de planes. La realidad actual del cumplimiento de dicho artículo de la Ley del Suelo es bastante desalentadora: mapas de peligrosidad y no de riesgo, escalas de trabajo inadecuadas, mapas exclusivamente de inundación y no de todos los “riesgos naturales existentes” en un territorio. En definitiva, un cumplimiento “de compromiso”, para cubrir la exigencia normativa.
- Incorporación de la modelización climática en los planes de ordenación del territorio, en todas las escalas (regional a local). Es el gran reto de los próximos años para la

investigación climática: la elaboración de proyecciones y modelos climáticos de escala local para su empleo en la planificación urbana. Aunque en la actualidad ya se pueden utilizar modelos climáticos de escala regional o subregional que permiten diseñar propuestas para la adaptación de las escalas pequeñas al cambio climático y a los extremos atmosféricos relacionados.

- Agilizar procedimientos de aprobación de planes. Los Planes de Ordenación del Territorio de escala regional o subregional, si se les pretende efectivos para la reducción del riesgo de inundación, y en el contexto actual de cambio climático, deberían actualizarse cada diez años. Y lo mismo para el planeamiento urbano. No se entiende la existencia de planes territoriales y, sobre todo urbanísticos, con más de dos décadas de vigencia en nuestro país. Se trata de documentos no adaptados a los principios de sostenibilidad ambiental ni de adaptación al cambio climático y sus extremos atmosféricos asociados. De manera que urge una modificación normativa para obligar a todas las Comunidades Autónomas y municipios con planes de más de diez años de vigente a su revisión y actualización

España debería considerar, además, la redacción de un código normativo temático sobre planificación y gestión de riesgos naturales que incluyese determinaciones específicas para el tratamiento de cada uno de los peligros naturales que pueden afectar al territorio español. Es ello tiene sobrada justificación al tratarse de una de las cuestiones que genera, anualmente, pérdidas económicas millonarias y víctimas humanas; pero, además, el contexto actual de cambio climático va a condicionar políticas y acciones orientadas a la adaptación que deben incluir la reducción del riesgo. El caso de Francia, con la obligación elaboración de los PPR (Planes de prevención de Riesgos naturales) de escala municipal, contenida en su código ambiental, puede tenerse como buen ejemplo a seguir.

Por su parte, la reciente elaboración de normas y planes para la adaptación al cambio climático, en las escalas estatal y regional, permite la incorporación de la planificación territorial como pieza importante en las actuaciones para minimizar el impacto del cambio climático, de los que los episodios de lluvia intensa o torrencial con efectos de inundación, que están ocurriendo con una frecuencia mayor en los últimos años, son un proceso de tratamiento fundamental en estos planes al tratarse de un efecto regional destacado en nuestro país.

Conclusiones

La ordenación del territorio de escala regional o subregional es una medida eficaz para reducir la exposición y vulnerabilidad al peligro de las inundaciones. El problema radica en las áreas de alto riesgo de inundación ocupadas con anterioridad al año 2008, para las que la solución encaminada a reducir el riesgo mediante la planificación del territorio no resulta efectiva a corto plazo. De manera que para estas áreas sigue siendo necesaria el desarrollo de actuaciones estructurales, de medidas de gestión de emergencias y del impulso real de la educación para el riesgo. Las áreas geográficas con riesgo de inundación con elevada exposición de su población y peligrosidad natural, asimismo, elevada, requieren tratamiento

integral para la reducción del riesgo que supone tener en cuenta todas las medidas que puedan contribuir a salvaguardar la vida humana que es el objetivo -apuesta ética- principal del análisis de riesgo natural. Después de cuatro décadas de legislación democrática del suelo, del territorio y de las cuestiones ambientales, surge la pregunta de si todo el aparato legal aprobado por el Estado, en sus distintas escalas administrativas (nacional y regional, básicamente) ha servido para reducir el riesgo de inundaciones en nuestro país.

Hay datos que pueden inducir a esa conclusión: se ha producido una reducción significativa de las víctimas mortales a causa de una inundación en nuestro país. Pero siguen ocurriendo pérdida de vidas humanas con ocasión de riadas y en una cantidad nada despreciable: 527 personas entre 1985 y 2015 (MAPAMA, 2016). Se ha mejorado mucho en el análisis científico de los procesos de riesgo natural, una cuestión que apenas preocupaba en nuestro país hace tres décadas. La cartografía ha adquirido protagonismo creciente en los trabajos de investigación y en los procesos aplicados de planificación territorial como herramienta necesaria para la acreditación del riesgo. Y se ha avanzado mucho, como se ha señalado, en la elaboración de normativas territoriales y urbanísticas que han ido incluyendo progresivamente el tratamiento de los riesgos en los procesos de asignación de nuevos usos en el suelo. Aunque las medidas estructurales siguen siendo las acciones principales para la reducción del peligro de inundaciones por parte de las administraciones públicas [221].

Con todo, la vulnerabilidad y exposición al peligro de inundaciones en nuestro país se ha incrementado de forma notable desde 1995 a la actualidad, con la excepción del intervalo 2008-16, por el descenso intenso en la promoción inmobiliaria debido a la crisis económica.

Siendo realistas la herramienta de ordenación del territorio ha resultado poco eficaz, hasta el momento presente, para reducir el riesgo de inundaciones en los aspectos para los que resulta más útil (disminución de la exposición y vulnerabilidad, por este orden). Los datos sobre los efectos de la aplicación de la normativa estatal y regional del suelo y ordenación del territorio en la disminución del riesgo natural son interesantes pero descorazonadores por el ritmo lento en que se consigue reservar suelo con riesgo para fines no residenciales ni infraestructurales.

No obstante, y dado que las medidas estructurales principales para la reducción del peligro de inundaciones ya se han realizado en nuestro país y que, merced a las normativas ambientales vigentes resulta -afortunadamente para el medio- cada vez más compleja la tramitación y aprobación de una gran obra de infraestructura hidráulica a estos efectos, la ordenación del territorio va a ser a medio y largo plazo el procedimiento más eficaz para disminuir el riesgo natural en nuestro país. Y junto a ello la educación para el riesgo que, aún hoy, sigue siendo una medida esencial y escasamente desarrollada en España para reducir el riesgo natural (Tabla 12).

Tabla 12: Efecto de las normativas del suelo y ordenación del territorio en la reducción del riesgo de inundaciones en España.

Normativa	Rasgos destacados
Ley Suelo 1998	Sin efecto de su art. 9 al no precisar el procedimiento de acreditación del riesgo. Bajo su aplicación se produce el “boom inmobiliario” (1998-2008) que es el período de mayor crecimiento de la exposición al riesgo de inundación de la historia de España.
Estrategia Territorial Europea (1999) y Agendas Territoriales	Documento orientador de políticas del territorio. Referencias importantes en el caso de gestión de inundaciones. Escaso efecto al tratarse de un documento estratégico, no normativo.
Ley Suelo 2008 (y texto refundido 2015)	Exigencia de mapas de riesgo en los procesos urbanísticos. Por primera vez en España. Aplicación deficiente por falta de definición de los mapas de riesgo a incorporar. Se simplifica erróneamente la cartografía de riesgos a un mapa de inundaciones. Necesidad de control de su aplicación por organismos autonómicos del suelo y la ordenación del territorio.
Normativa autonómica del Suelo y OT	Adaptación lenta de determinaciones de la Ley estatal del Suelo. En pocas CC.AA. se han elaborado normativas y planes sectoriales específicos con integración de inundaciones en la OT (País Vasco, Baleares, Cataluña, Comunidad Valenciana, Andalucía).
Leyes y planes de adaptación al cambio climático	En fase de elaboración en las escalas estatal, regional y local. Se presentan como oportunidad para incluir la ordenación del territorio como medida importante para reducir el impacto del cambio climático y de los extremos atmosféricos asociados.

Fuente: Normativas y planes de escala europea, estatal y regional. Elaboración propia.

Las acciones de planificación del territorio para la reducción del riesgo en la escala regional permiten reducir el riesgo en escenarios de futuro, algo fundamental en un mundo de clima cambiante y con un mayor nivel de incertidumbre. La ordenación del territorio, además, entra dentro de las acciones vinculadas con el cumplimiento del principio de sostenibilidad en la reducción del riesgo natural incluido en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS nº 13- Acción por el clima y nº 11-Ciudades y comunidades sostenibles), que son una hoja de ruta insoslayable para las actuaciones económicas y territoriales de nuestro país para los próximos años.

4.2.4. Proyecto ESPON-TITAN: Impactos Territoriales de Peligros Naturales

Carolina Cantergiani de Carvalho, Daniel Navarro Cueto, Efrén Feliu Torres

Tecnalia

El proyecto ESPON-TITAN

*ESPON-TITAN: Impactos Territoriales de los Peligros Naturales*³⁶ es un proyecto europeo de investigación aplicada, financiado por el Programa ESPON³⁷. Liderado por TECNALIA Research & Innovation, tiene como socios Geological Survey of Finland (GTK), Technical University of Dortmund, Trinomics and Cambridge Econometrics. El proyecto, empezado en septiembre de 2019 y cuyo término está previsto para mediados de 2021.

El objetivo del proyecto ESPON-TITAN es analizar la distribución y los patrones territoriales de los peligros naturales, y sus impactos económicos directos e indirectos, buscando generar evidencias para apoyar la identificación de las áreas más vulnerables en Europa. Para ello, fueron seleccionadas los siguientes peligros: inundaciones, tormentas de viento, sequía, terremotos y deslizamientos (este último analizado parcialmente y a través de casos de estudio). Además, el proyecto también tiene como objetivo identificar y analizar las medidas existentes sobre la gestión del riesgo de desastres (GRD) y adaptación al cambio climático (ACC) en diferentes niveles políticos, que pueden recomendarse para integrar la GRD y la ACC en las políticas de planificación espacial y desarrollo territorial.

Las prácticas actuales de evaluación y GRD se analizaron mediante un estudio documental sobre los marcos legislativos y los documentos de orientación existentes en todos los Estados miembros. Además, al considerar una perspectiva multiescalar, el proyecto apoyó sus conclusiones paneuropeas a través de ocho estudios de casos que abarcan las escalas transnacional, nacional, regional y local, con aspectos diferenciados – en algunos casos con especial consideración a un tipo particular de peligros, en otros sobre la cooperación y colaboración operativa existente entre las entidades implicadas.

Los resultados desarrollados en el marco de ESPON-TITAN han permitido elaborar recomendaciones políticas, con el objetivo de contribuir al debate sobre cómo afectan los impactos territoriales de los peligros naturales al territorio y cuáles pueden ser las consecuencias de contar con políticas coherentes, reforzando al mismo tiempo la necesidad de integrar las estrategias de DRM y CCA en los instrumentos de planificación.

³⁶ <https://www.espon.eu/natural-disasters>

³⁷ www.espon.eu

Principales resultados

En ESPON-TITAN se analizaron los cinco principales peligros naturales que más afectan al territorio europeo (inundaciones, tormentas de viento, sequías, terremotos y deslizamientos). La distribución de los peligros agregados (Figura 41) se basa en la combinación de los índices de peligros normalizados ponderados con sus costes de daños acumulados en el periodo 1981-2010. Las inundaciones y las tormentas han contribuido a casi el 76% de los daños y pérdidas, seguidas de las sequías y los terremotos (24% ambas). El mayor impacto económico de las tormentas se sitúa en las costas expuestas, coincidiendo en muchos casos con zonas bajas, más propensas a las inundaciones. Los deslizamientos, aunque fueron analizados en cuanto a su distribución territorial en Europa, no fueron considerados para el desarrollo del análisis económico, dado que están más bien relacionados con eventos muy localizados, y por ello fueron considerados solamente en el análisis de los casos regionales incluidos en el proyecto.

Algunas consideraciones relativas a la interpretación de este mapa son que (i) el mapa no evalúa las medidas de protección contra las inundaciones y, por lo tanto, tampoco evalúa el riesgo efectivo, (ii) las sequías están representadas por país, lo que puede dar lugar parcialmente a fuertes contrastes en las fronteras nacionales, y (iii) la ponderación de la agregación muestra sólo los daños y pérdidas económicas (sin incluir las muertes humanas o los daños y pérdidas que no pueden expresarse en valores monetarios).

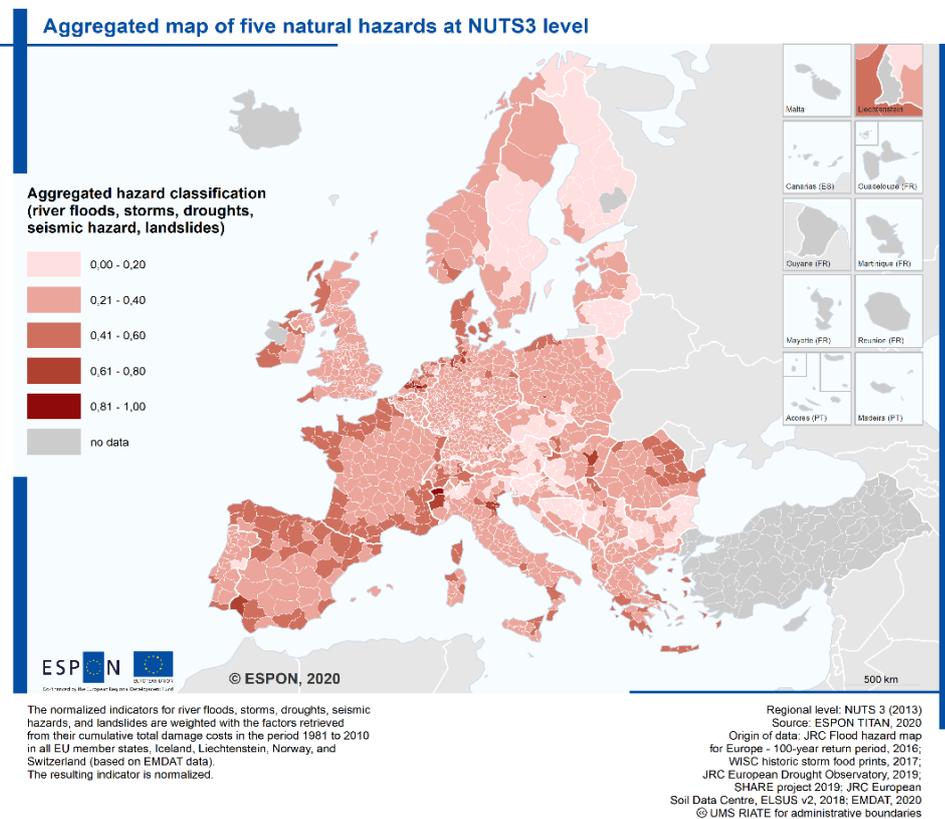


Figura 41: Mapa de los cinco riesgos agregados. Fuente: ESPON-TITAN Draft Final Report (<https://www.espon.eu/natural-disasters>)

ESPON-TITAN utiliza enfoques y metodologías innovadores para proporcionar un análisis de la distribución de los impactos económicos de los peligros naturales, así como de la vulnerabilidad territorial de regiones europeas.

El enfoque utilizado para calcular los impactos económicos se basa en matrices de distribución de daños y tablas input-output (I/O) para medir, en un valor monetizado, cómo se ve afectado el territorio por diferentes tipos de catástrofes. Los impactos directos son aquellos daños y pérdidas que resultan de un peligro natural que afecta directamente a una región (que se produce geográficamente en ella y que daña el stock de capital de la región), mientras que los impactos indirectos resultan del análisis de las tablas de I/O y de los vínculos derivados de los sectores económicos entre regiones y países. Un resultado destacable del análisis ha sido que los impactos económicos indirectos producidos en regiones específicas, por una interrupción de las actividades económicas en otras, tienden a ser casi tan grandes como los impactos directos. La relación entre los impactos indirectos y los directos se sitúa entre el 60% y el 90% en todo el periodo analizado.

La distribución espacial de los impactos económicos (basada en datos del periodo 1995-2017) indica que los países de Europa Central y Oriental, y del Sudeste de Europa tienden a verse relativamente más afectados por estos peligros naturales, en términos económicos, que la mayor parte del resto del territorio europeo. Esto implica que se recomienda a estos países desarrollar medidas de carácter local para reducir los efectos de estos eventos en el futuro.

La Figura 42 muestra el promedio anual de daños y pérdidas económicas relativas (como la relación entre la caída de la producción económica y el Valor Añadido Bruto) de los cuatro tipos de peligros naturales para el periodo 1995-2017, a nivel NUTS3 (regional) para toda la zona ESPON (según disponibilidad de datos). Además de los países de Europa Central y Oriental y del sureste de Europa, algunas zonas del Reino Unido e Irlanda, Dinamarca, Francia y España (sobre todo las costeras) también se ven muy afectadas en términos económicos por uno o más tipos de peligros naturales.

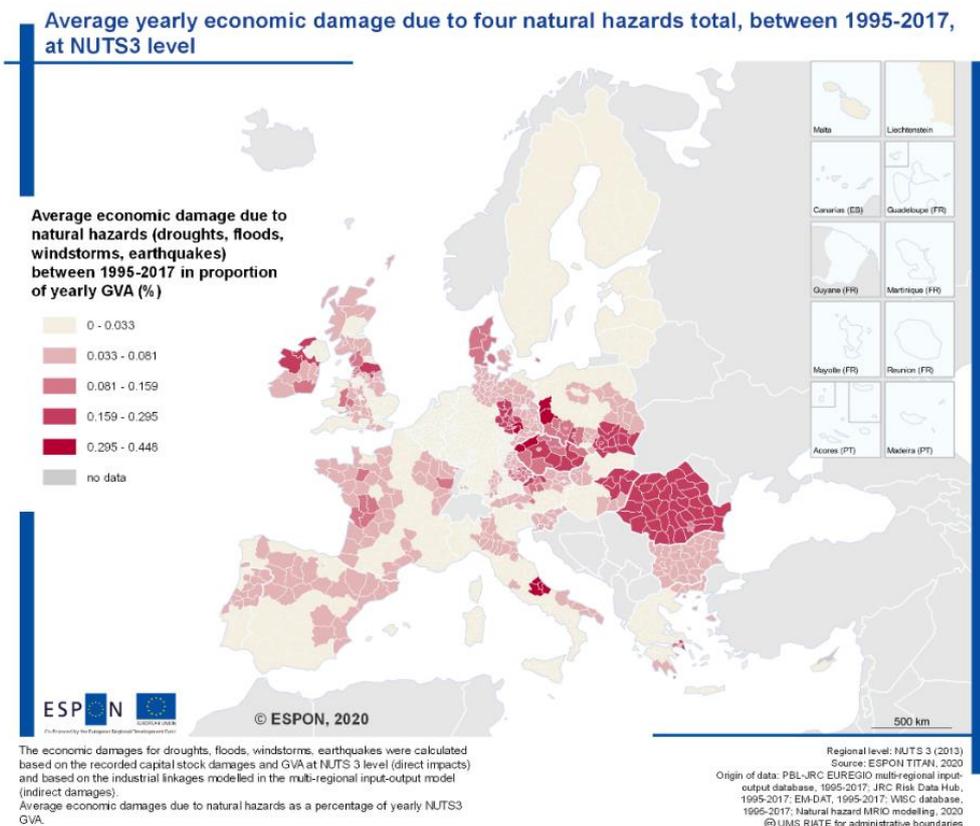


Figura 42: Mapa de daños económicos debidos a los cuatro tipos de peligros naturales (media anual 1995-2017). Fuente: ESPON-TITAN Draft Final Report (<https://www.espon.eu/natural-disasters>)

El análisis del impacto económico también ha incluido un análisis local piloto con una metodología detallada en dos de los ocho estudios de caso de ESPON-TITAN (concretamente Charente-Maritime en Francia, y Praga en República Checa). En ellos se compararon los resultados de la metodología global (basada en información descendente) con los de la metodología local (basada en información ascendente). La comparación mostró que la metodología local evidenció mayores costes de daños por evento, debido a la inclusión de información detallada de los eventos reales incurridos en la región. La metodología local también permitió una comprensión más profunda de los principales impulsores de los impactos económicos a través de la investigación cualitativa. Por lo tanto, se recomienda que la metodología global sirva para un propósito de preselección, para identificar dónde se necesita un análisis más detallado (es decir, eventos con daños inicialmente altos reportados, o eventos que han afectado fuertemente a ciertos sectores), para el desarrollo de políticas específicas para cada lugar.

Riesgos Climáticos en Ríos y Costas. en dos de los casos de estudio se realizó análisis detallado de impactos económicos de desastres relacionados con peligros naturales, específicamente la región de charente-maritime, en la costa francesa (en relación con la tormenta xynthia), y la ciudad de praga, en república checa (vinculado a inundaciones fluviales).

Tormenta Xynthia en la región costera de Charente-maritime: Los diques y las dunas no pudieron evitar los daños, dado que las defensas contra inundaciones se construyeron para un periodo de retorno de cien años, superado por la intensidad de la tormenta Xynthia. Una de las conclusiones es relativa a la importancia de considerar proyecciones climáticas y desarrollar medidas de adaptación como respuesta a los cambios en peligros naturales, para ser incluidos en la planificación territorial.

Inundaciones fluviales en Praga: Las inundaciones de 2002 fue de gran intensidad y daños elevados para la ciudad (aproximadamente mil millones de euros); en las de 2013, aunque fue de características diferentes, las medidas de protección contra las inundaciones funcionaron bien. Los resultados muestran que las inversiones en defensas contra inundaciones reducen los costes globales de los daños y pueden desempeñar un papel fundamental en la protección de zonas vulnerables.

Además, se ha desarrollado una evaluación de la vulnerabilidad territorial a nivel europeo. La metodología se basa en el análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés), teniendo en cuenta indicadores relacionados con la susceptibilidad y la capacidad de acogida. Se incluyeron nuevos indicadores en comparación con proyectos anteriores que analizaron la vulnerabilidad territorial a los desastres (por ejemplo: ESPON-CLIMATE o RESIN), tal como: la gobernanza, el capital social, el género y la percepción del riesgo, entre otros. La Figura 43 muestra los patrones territoriales de la evaluación de la vulnerabilidad y muestra claramente que las zonas del Este y del Sur de Europa son las más vulnerables. Más allá de la distribución territorial de los diferentes niveles de vulnerabilidad, los resultados también se interpretaron en términos relativos a la población expuesta, mostrando que el 22% de la población europea vive en territorios con altos niveles de vulnerabilidad, especialmente en Rumanía, Italia, Bulgaria y Grecia.

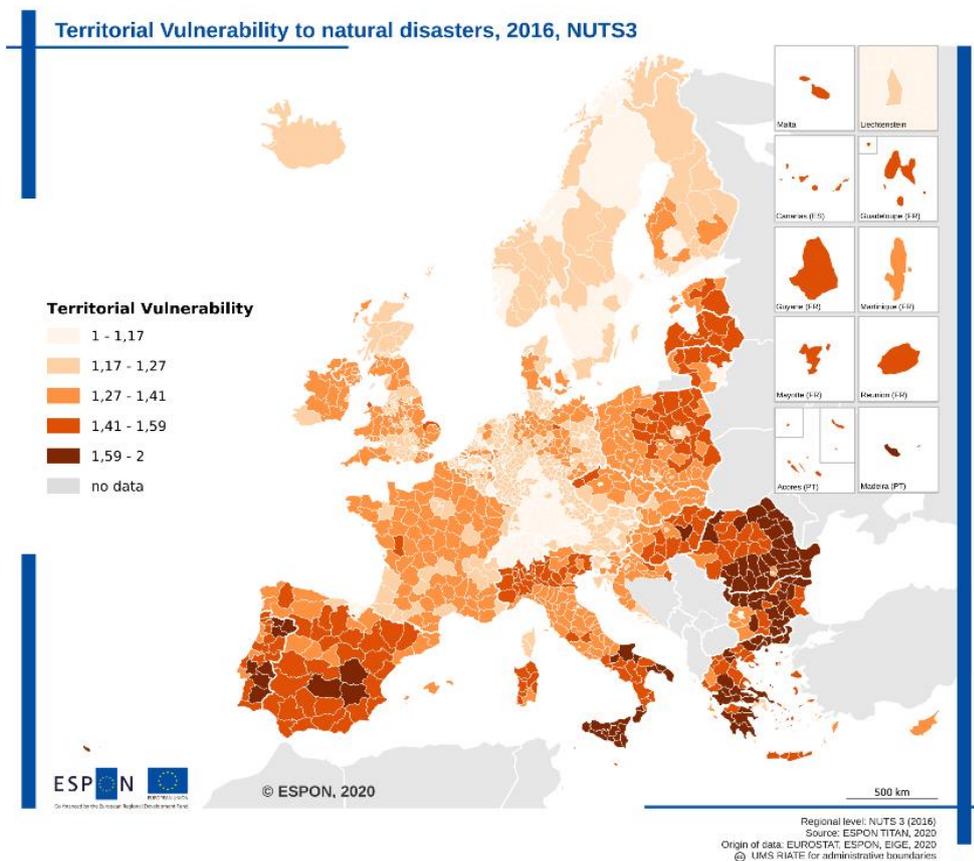


Figura 43: Mapa de vulnerabilidad territorial a los peligros naturales, 2016.

Fuente: ESPON-TITAN Draft Final Report (<https://www.espon.eu/natural-disasters>)

La Vulnerabilidad Importa. La vulnerabilidad nos ayuda a entender por qué la ocurrencia de un peligro natural se convierte en una catástrofe. La reducción del riesgo de desastres a través del desarrollo territorial sólo se puede abordar mitigando la amenaza, reduciendo la exposición o disminuyendo la vulnerabilidad, es decir, reduciendo la sensibilidad y aumentando la capacidad de adaptación.

ESPON-TITAN ilustró las conclusiones mencionadas a través de ocho estudios de casos representativos (Región Alpina, Andalucía-ES, Nueva Aquitania-FR, Dresden-DE, Praga-CZ, Cuenca del río Po/Lombardía-IT, Ciudad de Pori-FI, Ciudad de Róterdam-NL). Los casos tienen una perspectiva multiescalar -transnacional, nacional, regional y local-, con características diferenciadas, relativas por ejemplo en un tipo de peligros, o a la existencia de cooperación y colaboración operativa entre las entidades implicadas. Del análisis de los estudios de caso, se extrajeron buenas prácticas que alimentaron las recomendaciones políticas finales elaboradas en ESPON-TITAN.

Conclusiones y líneas futuras

Los principales resultados ESPON-TITAN se traducen en recomendaciones políticas, enmarcando el debate político sobre cómo los impactos territoriales de los peligros naturales afectan al territorio y cuáles pueden ser las consecuencias de contar con políticas coherentes, reforzando al mismo tiempo la necesidad de integrar las estrategias de GRD y ACC en los instrumentos de planificación territorial.

Estas recomendaciones están estructuradas en las diferentes etapas del proceso de gestión e políticas (es decir, la identificación del problema y el establecimiento de la agenda, la formulación y la adopción, la implementación y la evaluación), y estructuradas en tres bloques:

- **Recomendaciones políticas relacionadas con el impacto económico**, centradas en los métodos y los datos: (i) armonización de conceptos y métodos para la evaluación de riesgos y (ii) desarrollo de un marco para la recogida de los datos necesarios a nivel local en todos los Estados miembros/autoridades;
- **Recomendación política relacionada con la conexión entre las pérdidas económicas y las medidas adecuadas de GRD y ACC**: (i) propuesta de medidas y planes de GRD y ACC que tengan en cuenta el impacto económico total de los peligros naturales que se produzcan, incluyendo tanto las pérdidas directas como las indirectas, así como los factores de aversión al riesgo;
- Recomendaciones políticas relacionadas con la mejora de las prácticas de GRD y ACC en términos de financiación, cooperación y legislación: (i) promoción centrada en un diseño proactivo y orientado a la prevención de los instrumentos de financiación de la UE en combinación con objetivos de calidad en relación con la financiación de la reconstrucción, (ii) desarrollo de estructuras de cooperación entre las regiones, las ciudades y los gobiernos locales, pero también entre los diferentes expertos, sobre la base de un conjunto equilibrado de elementos formales e informales, y (iii) evaluación sistemática de las directivas de la UE en cuanto a su potencial para apoyar las cuestiones de GRD y ACC.

Referencias

El contenido y la descripción detallada de la concepción del proyecto, metodologías, resultados, mapas y datos asociados referentes al proyecto ESPON-TITAN, están recogidos en el Documento Borrador, así como en los seis informes científicos complementarios, resultantes de su desarrollo. El contenido presentado para CONAMA fue elaborado en el contexto del proyecto ESPON-TITAN, y su autoría es compartida entre todos los miembros del consorcio. Es importante mencionar que los documentos finales, tras revisión y aprobación por la Comisión Europea todavía no están todavía disponibles, por lo que el contenido presentado puede sufrir modificaciones. El Documento Final, así como los mapas elaborados y datos de referencia, estarán disponible dentro de los próximos meses a través del siguiente enlace: <https://www.espon.eu/natural-disasters>.

1. ESPON (2021) ESPON-TITAN, Territorial Impacts Of Natural Disasters. Draft Final Report. Accesible en: <https://www.espon.eu/natural-disasters> (consultado en 31/03/2021)
2. ESPON (2021) ESPON-TITAN, Territorial Impacts Of Natural Disasters. Scientific Reports. Accesible en: <https://www.espon.eu/natural-disasters> (consultado en 31/03/2021)

4.2.5. Plan Vega Renhace: Una estrategia para la resiliencia territorial ante extremos atmosféricos naturales y para la adaptación al cambio climático

Jorge Olcina, Antonio Oliva Cañizares

Universidad de Alicante

La reducción de los peligros climáticos y la adaptación al cambio climático mediante planificación territorial. Experiencias.

La reducción de los peligros climáticos y la adaptación al cambio climático son uno de los grandes retos que afrontan la sociedad mundial [202]. Estas medidas están íntimamente ligada a procesos de ordenación y planificación territorial, desde la escala local hasta la internacional, cuyo objetivo es la generación de territorios resilientes a los efectos adversos del cambio climático, y que, para ello es necesaria la participación y voluntad política.

Existe una gran disparidad en la medida en que los distintos países, regiones o ciudades del mundo han considerado los efectos del cambio climático y de los extremos atmosféricos vinculados en su territorio. Algunos de ellos han optado por una actitud proactiva, generando políticas y medidas de mitigación desde hace una década como puede ser Dinamarca, Bélgica, Países Bajos y Alemania. Otros han tomado la postura de ser meros espectadores durante el horizonte 2010-2020, motivado por intereses socioeconómicos, sin aceptar la gravedad del problema al que se enfrenta la humanidad.

A ello se le suma los numerosos acontecimientos de eventos atmosféricos extremos que se han ido produciendo en la última década, para los que resulta cada vez más evidente su relación con el proceso actual de calentamiento. Y este hecho ha provocado que muchos países, regiones, municipios y ciudades hayan tenido que desarrollar medidas de urgencia, sin la planificación que requiere el proceso de adaptación de los territorios al cambio climático y sus extremos asociados.

De manera que la velocidad en la toma de decisiones y el desarrollo de acciones concretas para la reducción del cambio climático y sus extremos atmosféricos relacionados es diversa en todo el mundo, según la incidencia manifiesta del problema y el interés político en las acciones de gobierno vinculadas a esta cuestión. Como ejemplo, baste citar el grado de importancia que se concede al cambio climático, como eje de políticas administrativas (a diferentes escalas) en los países más septentrionales de Europa respecto a los países mediterráneos.

La Agencia Europea de Medio Ambiente señalaba acertadamente que se necesitan estrategias y acciones en los ámbitos locales, nacionales, transnacionales y de la Unión Europea (UE), para la adaptación al cambio climático y mitigar los efectos adversos del mismo [101]. La Comisión Europea, por su parte, ha puesto de manifiesto que, en caso de alcanzar la

neutralidad climática, situación nada probable a corto plazo, los efectos del cambio climático continuarán dejándose sentir en el territorio durante décadas, por lo que seguirán siendo necesarios importantes esfuerzos de adaptación. Motivo de ello, el Consejo Europeo ha concluido que el cambio climático es una amenaza existencial; tal es así que el Parlamento Europeo, varios Estados miembros y más de 300 ciudades han reconocido la emergencia climática [100] y existen documentos y acuerdos que acreditan estas cuestiones como el Pacto de los Alcaldes (2008) o el Acuerdo de París (2018). El enfoque de la transición verde en el Fondo de Recuperación y Resiliencia, y en la próxima generación de programas de Política de Cohesión, ofrece la oportunidad de adelantar las inversiones y las reformas que pueden contribuir a aumentar la resiliencia de los territorios europeos a la crisis climática.

Por su parte, la Comisión Mundial sobre la Adaptación destaca que las actuaciones más exitosas se encuentran las soluciones basadas en la naturaleza, la prevención del riesgo en catástrofes y la adaptación para evitar futuras pérdidas de vidas humanas, naturales y materiales. Aunque las metas de adaptación sean locales y específicas, las soluciones suelen ser aplicables a escala regional, nacional y transnacional [100].

En la actualidad, comienza a haber ejemplos interesantes de acciones de lucha contra el cambio climático y sus extremos en la escala local que pueden destacarse como buenas prácticas a seguir por otras ciudades y regiones. Generalmente dichos planes o programas vienen incentivados tras una catástrofe acontecida, por lo que la adaptación a los efectos del calentamiento global se puede catalogar como medida *post-desastre*. Además, las ciudades que han ido llevando a cabo actuaciones, intentan dar respuesta a las amenazas más evidentes, según su territorio. Es por ello, que algunas ciudades darán respuesta a las precipitaciones de fuerte intensidad, a las inundaciones, a la sequía, a los temporales marítimos, a las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEIs), o inclusive, a una movilidad sostenible. Generalmente, se tratan de actuaciones en la escala local cuyo objetivo es hacer más resiliente a las ciudades de los efectos del cambio climático.

En este sentido, resulta interesante el análisis de algunos proyectos de adaptación al cambio climático en tres escalas: ciudades mundiales, ciudades europeas y ciudades nacionales (España), para contextualizar la relevancia del Plan Vega Baja Renhace, como hoja de ruta estratégica para la adaptación al cambio climático de un ámbito subregional (comarca) mediante un conjunto de actuaciones que integran aspectos hidrológicos, socio-económicos y de emergencia climática.

A nivel mundial, pueden citarse los ejemplos de Vancouver (Canadá), Singapur (Rep. de Singapur), Qingdao (China), Boston, Nueva York, Nueva Orleans (EE.UU.) y Medellín (Colombia) (

Tabla 13) por sus iniciativas de mitigación y adaptación al cambio climático.

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

Tabla 13: Proyectos de adaptación al cambio climático en algunas ciudades mundiales.

Ciudad (País)	Estrategia (Año)	Objetivos	Medidas de adaptación al cambio climático y riesgos	Beneficios
Boston (Nueva York, EE. UU.)	<i>Boston Harbor Resiliente Plan (2019)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Conectar la ciudad con la costa. Adaptación al incremento del nivel del mar y marejadas ciclónicas Adaptación a las inundaciones pluviales y costeras. 	<ul style="list-style-type: none"> Creación de espacios verdes elevados a lo largo de la costa. Actuación de protección para inundaciones costeras para periodos de retorno entre 1 y 100 años, y un incremento de más de 1 m del nivel del mar.-21 	<ul style="list-style-type: none"> Hacer una ciudad más resistente a los impactos del cambio climático, protegiendo hogares e infraestructuras críticas, y más habitable. Los espacios verdes sirven para el ocio y disfrute de los ciudadanos. Reducción del efecto isla urbano. Retención de aguas pluviales y reducción del riesgo de inundación.
Medellín (Colombia)	<i>Proyecto Green Corridors (2016)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Creación de una red interconectada de vegetación en toda la ciudad (30 corredores verdes). 	<ul style="list-style-type: none"> Política integrada en las <i>Natural Based Solutions (NBS)</i>. Creación de jardines por toda la ciudad. Creación de espacios verdes 	<ul style="list-style-type: none"> Creación de espacios verdes y conexión con los existentes. Mejora la biodiversidad urbana. Reduce el efecto de la isla de calor. Absorbe los contaminantes del aire y reduce la cantidad de emisiones de CO₂. Creación de espacios de sombra. Mejora de la vida y bienestar del ciudadano.
Singapur (Rep. de Singapur)	<i>Proyecto Solar Nova y Energía Solar Flotante (2016)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Elaboración de un proyecto de energía solar a gran escala. Invertir en energía solar fotovoltaica Creación de paneles solares flotantes 	<ul style="list-style-type: none"> Instalación de paneles de energía solar fotovoltaica en los techos de las edificaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Aprovechamiento de una fuente de energía renovable. Reducción de las emisiones de GEIS Reducción del efecto isla calor de la ciudad. Reducción de la temperatura media

Fuente: C40. Cities 100: Case Studies and Best Practice Examples (2019), Eco-Inteligencia y Climate-ADAPT.

En este contexto, es necesario referirse a las actuaciones desarrolladas en Nueva Orleans tras el desastre causado por el huracán "Katrina". Esta ciudad puso en marcha un ambicioso plan de reconstrucción y adaptación a los extremos atmosféricos (huracanes, lluvias con efectos de inundación) que, en las fases de diseño y seguimiento (evaluación de propuestas, participación ciudadana) ha servido de ejemplo para la preparación del plan Vega Baja Renhace. Debe recordarse que el desastre del "Katrina", en 2005, ocasionó 1.833 fallecimientos y pérdidas económicas evaluadas en 108.000 millones de dólares. La rotura de los diques de defensa, provocó el anegamiento de la ciudad que quedó bajo las aguas en un 80% de su caserío, además de los enormes daños materiales y económicos para su población.

Alrededor de 204.000 casas fueron dañadas por la inundación o la fuerza de los vientos y obligó al desplazamiento de 800.000 ciudadanos (el movimiento de personas más importante en este país desde la *Dust Bowl* de los años treinta del pasado siglo). El 30% de sus habitantes vivían en 2005 por bajo del [umbral de pobreza](#), y el paso del “Katrina” no hizo sino aumentar este porcentaje. La reconstrucción de Nueva Orleans, ciudad levantada en el tramo final del río Mississippi y con una altitud media de 2 m bajo el nivel del mar, puso en marcha un ambicioso programa de obra pública y privada consistente en la reconstrucción los diques de defensa de la ciudad, de vías de comunicación, la construcción de nuevos diques y la reconstrucción o reasignación de viviendas a la población que debían seguir unas estrictas normas de edificación (p.e. viviendas unifamiliares con sistema “palafítico”). Este último aspecto es el que más polémica ha suscitado, puesto que se habría priorizado la reconstrucción y asignación de nuevas viviendas en virtud del nivel económico de los grupos sociales afectados. El programa de reconstrucción de la ciudad ha sido desarrollado por el cuerpo de ingenieros de la Armada estadounidense ([U. S. Army Corps of Engineers](#)) y la Agencia Federal de Emergencias (FEMA). Este programa de reconstrucción de la zona devastada en el Estado de Louisiana supuso un revulsivo para la actividad económica de la ciudad de Nueva Orleans y para el conjunto del estado, cuyas tasas de empleo superaron, durante varios años, la media nacional.

En Europa son varias las ciudades que están tomando medidas de adaptación al cambio climático. De hecho, existen notables diferencias entre los países más septentrionales y meridionales de Europa, donde los primeros llevan una década de ventaja en la concienciación y toma de medidas para generar ciudades resilientes a los efectos adversos del calentamiento global que ya se evidencian en el continente, respecto a los segundos. De hecho, en el Cuadro 2 y 3, se puede observar cómo los países Mediterráneos con clima mediterráneo, han comenzado a adoptar estrategias en los últimos años.

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, ha señalado como buenos ejemplos de adaptación al cambio climático las siguientes ciudades: Ámsterdam (P. Bajos), Berlín y Hamburgo (Alemania), Malmo (Suecia), Copenhague (Dinamarca), Londres (Reino Unido), París (Francia), Bolonia y Viena (Italia), Lisboa (Portugal), Bratislava (Eslovaquia), Bilbao, Vitoria, Madrid, Barcelona, Alicante, Sevilla y Murcia (España) y Smolyan (Bulgaria), entre otras (Tabla 14).

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

Tabla 14: Proyectos de adaptación al cambio climático en algunas ciudades europeas.

Ciudad (País)	Estrategia (Año)	Objetivos	Medidas de adaptación al cambio climático y riesgos	Beneficios
Berlín (Alemania)	Informe "STEP Klima KONKRET" (2007)	<ul style="list-style-type: none"> Diseño urbano adaptado a los efectos del cambio climático Paisaje urbano como esponja de agua. Hacer de Berlín una ciudad más resistente y habitable con el cambio climático 	<ul style="list-style-type: none"> Plantación de árboles y toldos para dar sombra a veredas. Tejados vivos o jardines verdes, cubiertas de musgo y hierbas. Edificios de colores claros que refleja el calor. Superficies especiales de carreteras, resistentes al calor y permeables. Humedales urbanos y superficies más permeables para absorber y almacenar agua durante las fuertes lluvias (parques inundables y espacios verdes). Gestión del agua. Evitar el crecimiento urbanístico de nuevos espacios. 	<ul style="list-style-type: none"> Previenen las inundaciones urbanas. Mantenimiento del alcantarillado. Protege la calidad de agua. Reduce las emisiones de CO₂. Mayor calidad del aire y el agua. Evita el incremento de caudal en las calles, reduciendo la escorrentía superficial. Creación de espacios de ocio y disfrute.
Copenhague (Dinamarca)	Cloudburst Management Plan (2011) enmarcado en el Copenhague Climate Adaptation Plan (2011).	<ul style="list-style-type: none"> Reducir la vulnerabilidad de la ciudad ante el incremento de las fuertes lluvias. Mejorar la gestión de las inundaciones. Búsqueda de financiación (Público-Privada) para la adecuación de edificios. 	<ul style="list-style-type: none"> Creación de jardines verticales y cuencas de retención verdes o <i>greenscaping</i>. Reestructuración integral del Sistema de Drenaje (incluida la red separativa), el paisaje urbano, dirigiendo el agua a las salidas y depósitos de retención. <i>Greenscaping</i>, basado en la construcción de jardines, techos y paredes verdes. Creación de espacio de almacenamiento de agua pluvial y almacenamiento subterráneo. Colaboración entre las diferentes administraciones 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de escorrentía superficial en el casco urbano. Creación de espacios verdes. Creación de espacios para el disfrute y el ocio. Mejora de la red de alcantarillado. Mayor calidad del agua y del aire. Reducción de emisiones de CO₂.

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

Ciudad (País)	Estrategia (Año)	Objetivos	Medidas de adaptación al cambio climático y riesgos	Beneficios
Rotterdam (Países Bajos)	Climate Change Adaptation Strategy Rotterdam (2008) estrategia enmarcada en Rotterdam Climate Initiative (2006)	<ul style="list-style-type: none"> Creación de una ciudad <i>climate-proof</i> para 2025. Responder a los retos derivados de los fenómenos de inundación y gestión de recursos hídricos (inundaciones pluviales, fluviales y marinas, sequías, aumento de la temperatura, efecto isla calor, intrusión marina, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> Creación de techos verdes o <i>Roof Farm</i>, y jardines verticales. Infraestructuras urbanas (<i>Water Squares</i>), plazas que tienen el agua. Edificios flotantes. Aplicación de Extremos en Rotterdam. Corredor Azul: Creación de una ruta navegable de recreo, interconectada con otras áreas naturales. 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de emisiones de CO₂. Reducir carga del sistema de alcantarillado. Favorecer la refrigeración de los edificios. Retención del agua pluvial o escorrentía urbana. Función social. Informar al ciudadano de riesgos para la salud
Venecia (Italia)	Proyecto <i>Life Vimina</i> (2019)	<ul style="list-style-type: none"> Creación de un espacio más resiliente a los temporales marítimos o marejadas ciclónicas. Mayor resiliencia al incremento del nivel del mar. Proteger los hábitats de las marismas de la laguna de Venecia ante los impactos climáticos 	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento y gestión del cinturón de marismas de la laguna de Venecia que actúa como barrera natural. Conservación del hábitat protegido (Red Natura 2000) y protección de especies amenazadas. Obras de protección de bioingeniería (utilizando materiales naturales y locales, reciclados para evitar la erosión de las marismas). Adopción de prácticas circulares. Incorporación de los residentes y empresas locales en el mantenimiento de estos espacios a modo de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> Conservación de marismas redundante en el interés de la comunidad local. Biofiltros para el aire y el agua de la laguna de Venecia. Espacio natural beneficioso para la salud mental. Reducción de daños en las inundaciones de la Plaza de San Marcos de Venecia. Protección de la Red Natura 2000, hábitat urbano y marismas. Mayor calidad del agua, del aire y del paisaje

Fuente: C40. Cities 100: Case Studies and Best Practice Examples (2019), Eco-Inteligencia y Climate-ADAPT.

Por su parte, en España comienza a haber ejemplos de buenas prácticas en el desarrollo de estrategias y planes de adaptación al cambio climático con una visión integral, donde la ordenación territorial cobra un protagonismo destacado. Al igual que sucede en Europa, existe una gran diferencia del comienzo de actuaciones entre las zonas del norte, con las del este y sureste de España. No obstante, es de valorar la puesta en marcha de actuaciones en la escala local encaminadas a la adaptación de los efectos del cambio climático (Tabla 15).

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

Tabla 15: Proyectos de adaptación al cambio climático en algunas ciudades españolas.

Ciudad	Estrategia a (Año)	Objetivos	Medidas de adaptación al cambio climático y riesgos	Beneficios
Vitoria	Estrategia de Infraestructura Urbana Verde (2014) incorporado en el Plan de Lucha Contra el Cambio Climático (2010-2020)	<ul style="list-style-type: none"> Regeneración de áreas degradadas a través de técnicas de diseño ecológico. La mejora de la biodiversidad urbana. Mejora en la conectividad y funcionalidad de las zonas urbanas y periurbanas. Promoción de uso público de espacios verdes. Mejora de la capacidad de adaptación al cambio climático. Apuesta por la movilidad sostenible. 	<ul style="list-style-type: none"> Transformación de parcelas sin ocupación en nuevos espacios verdes. Incremento de la biomasa y número de árboles y arbustos en parques y jardines. Mejora de las funciones del hábitat en las áreas verdes existentes a través de intervenciones para la biodiversidad urbana y mejora de la conservación de las especies nativas y mejora de la gestión del agua. Promoción de agricultura ecológica en espacios libres y periurbanos. Promoción de estructuras verdes en fachadas cubiertas. Iniciativa piloto en el área Lakua, con el objetivo de probar el rendimiento de diferentes técnicas y, posteriormente, exportarlas a otras áreas similares 	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación de zonas degradadas. Creación de nuevos espacios verdes. Reducción de emisiones GEIs. Reducción de la escorrentía superficial. Captación de aguas pluviales para su reutilización. Incremento de la calidad de vida. Mejora de calidad en el aire y el agua. Movilidad de las personas por la ciudad de manera sostenible y ecológica.
Madrid	Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático (Plan A) (2017)	<ul style="list-style-type: none"> Garantizar la salud de los madrileños frente a la contaminación y fortalecer a la ciudad frente a los impactos del cambio climático. Objetivos a 2020 Objetivos a 2030 	<ul style="list-style-type: none"> Objetivos 2020: <ol style="list-style-type: none"> Medidas estructurales y tecnológicas para reducir las emisiones. Objetivos 2030: <ol style="list-style-type: none"> Regeneración urbana. Transición energética Otras actuaciones hacia un modelo de ciudad bajo en emisiones. <p>Un total de 30 medidas relacionadas con la movilidad (área central de 0 emisiones, vías de acceso y regulación de apartamentos), de transporte (optimización de los procesos logísticos urbanos y distribución urbana de mercancías), y eficiencia energética y energías renovables (fomento de climatización eficiente de bajas emisiones en edificios y generación distribuida de energías renovables.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar el comportamiento energético de los edificios. Regulación del caudal de lluvia y disponibilidad de espacios verdes visitables. Mitigar el efecto isla de calor urbano. Mejora de calidad del aire. Conectividad, accesibilidad y renovación de nuevos espacios. Pavimentos permeables. Renaturalización del tramo urbano del río Manzanares

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

Ciudad	Estrategia (Año)	Objetivos	Medidas de adaptación al cambio climático y riesgos	Beneficios
Sevilla	<i>Plan de acción por el Clima y la Energía Sostenible (2017)</i>	<ul style="list-style-type: none"> Promoverla participación de todos los agentes implicados en los distintos sectores de Sevilla con objeto de integrar la adaptación al cambio climático a las políticas sectoriales. Asegurar la resiliencia de los sectores más vulnerables al cambio climático. Anticiparse a los riesgos mediante la innovación, el desarrollo tecnológico y la transferencia de conocimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Implantar incentivos fiscales y bonificaciones para favorecer la adecuación de instalaciones a las nuevas condiciones climáticas, desarrollar actividades del I+D+i y promover buenas prácticas. Gestión del agua. Campañas de educación y concienciación informativa. Creación de espacios verdes, jardines verticales y cubiertas vegetales Recuperación y acondicionamiento de las riberas y cauces. Completar el sistema de drenaje urbano. 	<ul style="list-style-type: none"> Favorecer la apuesta por las energías renovables. Reducir las emisiones de los GEIS. Reducción de escorrentía urbana superficial. Aprovechamiento del escaso recurso del agua. Sociedad informada y concienciada ante la problemática. Recuperación de espacios fluviales, dando espacio al agua. Mejora de la red de alcantarillado.
Alicante	<i>No presenta ningún plan de adaptación al cambio climático.</i>	<ul style="list-style-type: none"> Ciudad Sostenible y adaptada a los efectos del cambio climático. 	<ul style="list-style-type: none"> Instalaciones fotovoltaicas en las paradas de los autobuses Autobuses híbridos. Luces Led (bajo consumo) en todas las farolas de la ciudad. Creación de nuevos espacios verdes. Creación de parques inundables (Parque La Marjal) Creación de tanques anticontaminación DSU (José Manuel Obrero) Creación de la denominada Vía Verde Apuesta por el transporte público (Autobuses, Tranvía). Peatonalización de calles. Cubiertas vegetales. Instalaciones fotovoltaicas en algunas cubiertas. 	<ul style="list-style-type: none"> Dar una mayor movilidad a la ciudad. Dar una mayor sostenibilidad a la ciudad. Adaptación a las inundaciones reduciendo la escorrentía urbana. Almacenamiento y gestión de las aguas pluviales captadas. Reducción de las emisiones de los GEIS. Apuesta por energías renovables o de bajo consumo. Ahorro de agua

Fuente: C40. Cities 100: Case Studies and Best Practice Examples (2019), Eco-Inteligencia y Climate-ADAPT.

Se trata de planes o estrategias de escala local, de ahí la singularidad del Plan Vega Renhace, que tiene un ámbito de actuación subregional (comarcal) y una concepción de estrategia territorial integral. En efecto, desde el año 2019 la Comunidad Valenciana y, en concreto, la provincia de Alicante, ha dado un paso al frente en materia de adaptación de cambio climático e inundaciones, aprovechando la catástrofe acaecida en septiembre de 2019, tras el desbordamiento del río Segura, aprobando el denominado Plan Vega Baja Renhace, un plan de carácter comarcal, que pretende generar un espacio resiliente de la comarca del Bajo Segura, formada por 27 municipios. Para ello, ha planteado 4 ejes de actuación, con 28

objetivos prioritarios (más otros añadidos), basados en: infraestructuras hidráulicas, emergencia climática, desarrollo económico y sociedad; cuyo resultado final será la generación de un territorio resiliente a los riesgos y al cambio climático.

Plan Vega “Renhace”. Una oportunidad estratégica para un territorio de riesgo.

Dos meses después de esta inundación, el Gobierno regional valenciano plantea la idea de elaborar un plan para la reconstrucción-regeneración de la Vega Baja del Segura: el denominado “*Plan Vega Baja Renhace*” aprovechando el desastre ocurrido como argumento para plantear soluciones e iniciativas que permitan a la comarca ser un referente nacional e internacional en las acciones de adaptación al cambio climático y la reducción de los riesgos naturales existentes.

La inundación de septiembre de 2019 evidenció la necesidad de preparar a la comarca de la Vega Baja para que su población y economía puedan resistir de mejor forma los efectos de futuros episodios similares que puedan ocurrir. Unos extremos atmosféricos que, como señala la modelización climática, pueden ocurrir con mayor frecuencia en las próximas décadas.

En la Vega Baja del Segura se han llevado a cabo en las últimas décadas acciones de planificación con objeto de mejorar la resiliencia de la comarca ante los peligros naturales (Tabla 16), que han tenido un carácter “sectorial”, esto es, han estado orientadas a disminuir el riesgo de un peligro natural específico (inundaciones, sequías, sismicidad); pero no se ha desarrollado una planificación “integral” que aúne actuaciones orientadas a mejorar la resiliencia de la comarca en relación con la diversidad de peligros naturales que pueden afectar a los diferentes sectores económicos y a los núcleos de población, de forma conjunta.

Tabla 16: Acciones de planificación para la mejora de la resistencia y resiliencia de la Vega Baja frente a eventos naturales extremos (1987-2021)

AÑO	ACCIÓN DE PLANIFICACIÓN
1987	Plan de defensa de Avenidas de la Cuenca del Segura
1992	1º Plan de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana
2002	Nueva normativa Sismorresistente.
1994-95	Plan Metasequía
1995	Programa PAYDES
2001	Plan Hidrológico Nacional
2002	PATRICOVA (1ª versión)
2003	2º Plan de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana
2005	Programa Agua

2005	PAT "Vega Baja". No finalizado.
2011	Plan Especial frente al Riesgo Sísmico en la Comunidad Valenciana
2015	PATRICOVA (2ª versión)
2020	Plan Renhace
2020-21	2º PAT Vega Baja. En tramitación
2020-21	Actuaciones frente a las inundaciones en la Vega Baja del Segura-CHS

Fuente: Elaboración propia.

La Vega Baja del Segura es una comarca "resistente" a la peligrosidad natural, no sin consecuencias a veces dramáticas. Porque en este territorio se producen excesos y escasez de agua, terremotos y temporales en la línea de costa. Pero debe convertirse en una comarca "resiliente". En el contexto actual de calentamiento climático los eventos atmosféricos de efectos extremos se presumen más frecuentes, como indica la modelización climática en el litoral mediterráneo español. Y ello obliga a estar preparados, a adelantarse a los acontecimientos, a que los territorios diseñen programas y actuaciones que preparen a las sociedades que viven en ellos ante los cambios atmosféricos que se prevén y que pueden tener efecto en las actividades económicas y la vida social en su conjunto. Un territorio "resiliente" es aquel que es capaz de recuperarse de forma rápida y aprovechando básicamente sus propios recursos humanos y económicos a los efectos catastróficos causados por el evento extremo, de causa natural o humana.

La finalidad última del Plan Vega Renhace [117] ha sido convertir la catástrofe en una oportunidad para impulsar un entorno resiliente que favorezca la regeneración económica y social de la Vega Baja, al tiempo que promueva un desarrollo territorial, absolutamente respetuoso con el medio ambiente, que prepare para futuros episodios de temporales, y que posibilite una mayor vertebración del territorio de la Vega Baja con el resto de la Comunitat Valenciana. El Plan Vega Renhace se ha organizado en cuatro pilares fundamentales: coordinación, consenso, evidencia y resiliencia. Pilares que han actuado de hilo vertebrador de la necesidad de aunar esfuerzos de diversos actores, públicos y privados, para la consecución de grandes objetivos comunes (Figura 44).



Figura 44: Ejes estratégicos y pilares conceptuales del Plan Vega Renhace. Elaboración propia.

El consenso entre administraciones y agentes sociales es fundamental porque una iniciativa de estas características incluye acciones que afectan a diferentes escalas administrativas y a diferentes actores sociales y económicos. El plan de participación ciudadana ha sido una pieza básica del plan Renhace. Han sido los ciudadanos, con el apoyo de dos grupos de trabajo (uno de expertos y otro de representación municipal), los que han identificado, propuesto y validado los problemas existentes en su comarca y sus posibles soluciones (Figura 45).

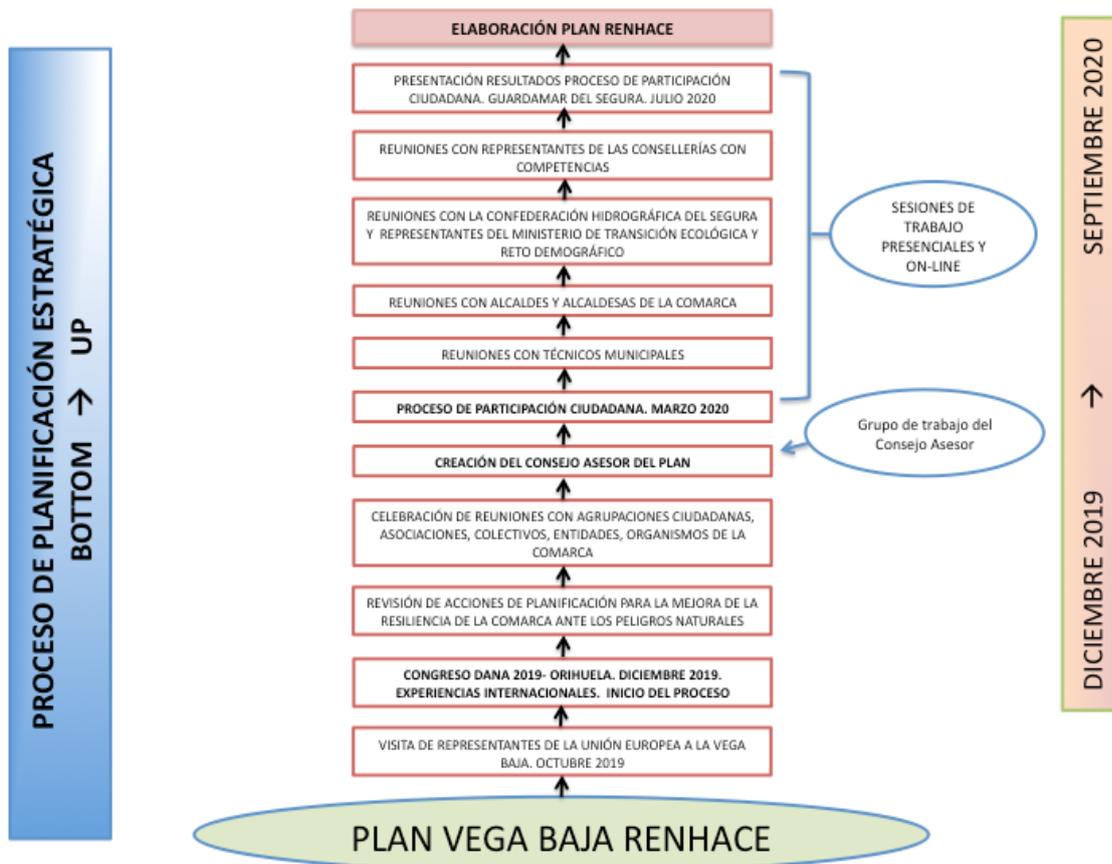


Figura 45: Esquema de desarrollo y participación ciudadana del Plan Vega Baja Renhace. Elaboración propia.

El proceso participativo se diseñó con una doble vertiente: *bottom-up* (de abajo-arriba) y *top-down* (de arriba-abajo). La vertiente *bottom-up*, ha permitido dotar y empoderar a la ciudadanía con el objetivo de plantear propuestas concretas. La segunda vertiente *top-down*, ha permitido que las administraciones propusieran actuaciones concretas para ser ejecutadas. Ambos procesos se han llevado a cabo simultáneamente y tanto las propuestas surgidas desde el enfoque *top-down* como *bottom-up* han sido valoradas y seleccionadas por parte de la ciudadanía. Es decir, se trata de un procedimiento dónde nadie ha dominado el proceso de toma de decisiones. Esta metodología está basada en la filosofía de proceso colaborativo riguroso e inclusivo que tiene la finalidad de elaborar estrategias y planes que permitan la puesta en marcha de proyectos de una determinada comunidad.

El Plan se ha organizado a partir de cuatro ejes de actuación:

- **Eje 1. Mejora de las infraestructuras hidráulicas:** se plantean actuaciones en el cauce del río Segura y en los cauces problemáticos de la comarca, saneamiento y depuración de aguas, aprovechamiento del agua ante extremos climáticos (inundaciones y sequía) y permeabilidad de las infraestructuras.

- **Eje 2. Emergencia climática:** se persigue la excelencia en la prevención y gestión de las emergencias y capacidad de reaccionar ante impactos esperables, siendo prioritario la mejora de los sistemas de prevención y alertas, y de los protocolos de actuación.
- **Eje 3. Desarrollo económico:** se pretende impulsar un ecosistema resiliente que favorezca el desarrollo económico regenerativo, con especial prioridad en materia de agricultura, turismo, comercio e industria, cultura y patrimonio y tecnología.
- **Eje 4. Sociedad:** actuaciones dirigidas a dar una mayor protección a los colectivos vulnerables, especialmente en materia de vivienda, así como a colaborar a la toma de conciencia de la ciudadanía sobre la realidad del territorio y su relación con un entorno en riesgo por el cambio climático.

De la fase de participación ciudadana surgen ochenta propuestas de actuación para hacer más resiliente el territorio de la Vega Baja del Segura, de las cuales se priorizan veintiocho organizadas en los ejes principales señalados (Tabla 17).

Tabla 17: Actuaciones prioritarias del Plan Vega Baja Renhace (2020).

Eje	Medida	Actuación
Infraestructuras hidráulicas	Permeabilización de infraestructuras viarias	ACTUACIÓN 1: Actuaciones de permeabilización de infraestructuras viarias y Corredor hidráulico verde en torno al cauce del Segura. ACTUACIÓN 2: Actuación urgente en la N-332 en la desembocadura del río Segura: permeabilización del tramo comprendido entre La Marina y Guardamar del Segura
	Plan integral de limpieza y mantenimiento del cauce del río Segura	ACTUACIÓN 3: Plan de limpieza integral del río Segura. ACTUACIÓN 4: Acuerdo entre la Confederación Hidrográfica del Segura y la Federación Valenciana de Municipios y Provincias para la realización de actuaciones de limpieza en cauces ubicados en zona urbana. ACTUACIÓN 5: Inversión en la reparación del mecanismo automático de la pantalla del río Segura y proyecto piloto de financiación de la limpieza
	Plan de infraestructuras hidráulicas para la reducción de la peligrosidad ante las inundaciones	ACTUACIÓN 6: Convenio de la CHS con la Universitat Politècnica de València (Departamento de Hidráulica) para realizar un estudio de inundabilidad de la cuenca.
	Actuaciones urbanas sostenibles frente a inundaciones	ACTUACIÓN 7: Inversión en sistemas de drenaje sostenible. ACTUACIÓN 8: Creación de "Islas Polder" en núcleos urbanos de riesgo.
	Garantizar el suministro de agua para luchar contra la sequía	ACTUACIÓN 9: Mantenimiento del actual esquema de dotaciones hídricas para abastecimiento de las demandas agrarias, industriales y urbano- turísticas) de la comarca. ACTUACIÓN 10: Inversión en la mejora de la depuración de aguas residuales y su reutilización para la agricultura y creación de un proyecto europeo para situar la conversión de todas las depuradoras de la Comunitat Valenciana en uso terciario.

SOLUCIONES ANTE LOS RIESGOS CLIMÁTICOS EN RÍOS Y COSTAS

Eje	Medida	Actuación
Emergencia climática	Creación de un Centro de Investigación de rango europeo en Extremos, Emergencias y Tecnologías del Agua	ACTUACIÓN 11: Creación de un Centro de Investigación de rango europeo en Extremos, Emergencias y Tecnologías del Agua.
	Plan de emergencia comarcal y planes municipales frente a las inundaciones y el riesgo sísmico.	ACTUACIÓN 12: Implementación de planes de emergencias para todos los municipios de la comarca con el empleo de técnicos superiores en emergencias para su elaboración.
	Desarrollo de una aplicación para móviles (App) de alerta ante el riesgo de inundaciones dirigida a la ciudadanía.	ACTUACIÓN 13 Creación de una app de Emergencias GVA.
		ACTUACIÓN 14: Firma de un acuerdo de Emergencias GVA con la Universidad de Alicante para crear una biblioteca de mensajes de riesgo de inundaciones en la Vega Baja.
	ACTUACIÓN 15. Acuerdo Emergencias GVA y Hidraqua para el uso de una plataforma de big data para la gestión de los embalses y las inundaciones.	
	Educación sobre el riesgo de inundación para ciudadanía	ACTUACIÓN 16: Plan de concienciación, educación e información ambiental sobre el riesgo de inundación y sísmico para la ciudadanía y gestores públicos.
Desarrollo económico	Solución para la CV-95 y movilidad sostenible de la comarca	ACTUACIÓN 17: Análisis de la movilidad motorizada y necesidad de actuaciones en la red viaria de la comarca de la Vega Baja.
	Impulso polígonos industriales	ACTUACIÓN 18: Estudio de planeamiento de la estación intermodal de la Vega Baja en San Isidro (Alicante).
	Vega Baja parque cultural	ACTUACIÓN 19: Proyecto Parque Cultural. ACTUACIÓN 20: Gestión inteligente del patrimonio cultural.
	Impulso al turismo en la comarca	ACTUACIÓN #21: Plan de dinamización y gobernanza turística de la Vega Baja.
		ACTUACIÓN 22: Impulso del turismo residencial en la comarca desde la perspectiva de la sostenibilidad, enmarcando su crecimiento y desarrollo en la Agenda Urbana 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
	Diversificación de la economía a través del impulso de sectores tecnológicos	ACTUACIÓN 23: Puesta en marcha de un Centro de Economía Creativa y Digital.
	Impulso al sector agroalimentario y mejora de los procesos agrícolas mediante el uso de las nuevas tecnologías.	ACTUACIÓN 24 Creación de un Centro de Investigación Agroalimentaria en el Campus de Orihuela.
ACTUACIÓN 25 Inteligencia artificial aplicada a la agricultura		
Sociedad	Mejora de la red transporte público	ACTUACIÓN 26: Plan de Movilidad de la Comarca de la Vega Baja.
	Planes de adaptación a las viviendas existentes en zonas inundables y su financiación	ACTUACIÓN 27: Guía virtual para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones para impulsar un modelo de vivienda adaptado al entorno y al grado de riesgo y peligrosidad.

Fuente: Una estrategia integral para la resiliencia de la comarca de la Vega Baja del Segura, [117].

Como se puede comprobar, el 90% de las actuaciones propuestas en este plan estratégico de ámbito comarcal, tienen relación con la ordenación territorial y la planificación de futuros usos económicos, de equipamiento o infraestructura en el espacio de aplicación. La fase de participación ciudadana puso de manifiesto el protagonismo que debe tener el futuro Plan de Acción Territorial de la Vega Baja como documento de planificación territorial normativo que oriente la ordenación de este espacio geográfico bajo los principios de la sostenibilidad y la adaptación a los efectos del cambio climático. Además, como se ha visto en el apartado anterior, se trata de un plan cuyas propuestas recogen, en su conjunto, muchas de las propuestas incluidas en los planes de adaptación al cambio climático a escala europea e internacional.

4.2.6. Medidas para la adaptación de la gestión del agua y la planificación hidrológica al Cambio Climático. Aplicación en la Demarcación del Júcar

Miguel Ángel Pérez Martín

Universitat Politècnica de València

El proyecto se inició el 1 de octubre 2019 y finaliza el 30 de junio de 2022, cuenta con un presupuesto total de 109.279,50 euros, financiados al 70% por la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (76.279,50 euros) y el resto por la Universitat Politècnica de València. El proyecto consiste en identificar los principales impactos, nivel de exposición y vulnerabilidades frente al cambio climático en una cuenca hidrográfica y definir las medidas de adaptación de la gestión de agua al cambio climático, así como su integración en la Planificación Hidrológica de la Demarcación. El proyecto se aplica al territorio de la Demarcación Hidrográfica del Júcar para demostrar la validez de su implementación en otras Demarcaciones, lo cual ha quedado demostrado mediante la aplicación de algunos de sus resultados al conjunto de España facilitando los mapas de riesgo de pérdida de hábitat fluvial para especies de aguas frías, de reducción de oxígeno disuelto en el agua o de afección a las familias de macroinvertebrados a las Demarcaciones Hidrográficas para su integración en los Planes Hidrológicos de Demarcación.

El proyecto recoge las directrices de la ley de cambio climático, e incluye: la evaluación de los riesgos asociados a los cambios en los regímenes hidrológicos y en la disponibilidad de agua en los acuíferos para abastecimientos urbanos y el regadío, los riesgos derivados por el incremento en las necesidades de riego y su efecto en la producción agrícola, el efecto en la producción hidroeléctrica y los riesgos sobre los ecosistemas en relación a los caudales ecológicos en ríos y los aportes de agua a humedales. Además, incluye la realización de diferentes Jornadas de difusión y mesas de diálogo.

La metodología utilizada se inicia con la caracterización climática, con la horquilla de cambios en las variables de temperatura del aire y de precipitación mensual para los principales escenarios de cambio climático, RCP4.5 y RCP8.5, y con valores para el corto plazo (2010 - 2040), el medio plazo (2040 - 2070) y el largo plazo (2070 - 2100). A partir de estos escenarios, se determina el riesgo asociado al cambio climático en el territorio para cada uno de los impactos analizados, mediante la elaboración de mapas de riesgo. Los mapas de riesgo son una herramienta para ayudar a priorizar las zonas de aplicación de medidas con el objetivo de mejorar la capacidad de adaptación de los ecosistemas y que permitan mantener el buen estado de las masas de agua [81].

La evaluación del riesgo asociado a los impactos del cambio climático, se realiza mediante la integración de indicadores [99] que cuantifiquen los peligros asociados al cambio climático, el

nivel de exposición y la vulnerabilidad del sistema hídrico (Figura 46). Para cada uno de los principales impactos se selecciona la variable, o variables, indicadora del estado de las masas de agua y los umbrales para definir el estado de la masa. En el caso del impacto debido a la pérdida de hábitat de las especies de aguas frías asociada al aumento de temperatura, se utiliza la temperatura del agua, el valor de temperatura que determina la zona de apremio de la especie (temperatura en la que la especie se ve significativamente afectada) y los límites termales de la especie (valor de temperatura en las que se produce una pérdida total de hábitat). En el caso de la pérdida de contenido de oxígeno disuelto debido al aumento de temperatura, se utiliza igualmente la temperatura del agua y los umbrales de contenido de oxígeno disuelto que definen las condiciones de aguas con altos contenidos de oxígeno (>9 mgO₂/l) y condiciones con contenidos medios de oxígeno (entre 5.5 y 9 mgO₂/l). En el caso de la afección a los macroinvertebrados se utiliza el IBMWP el grado de afección a este indicador y el cambio de categoría de este indicador.

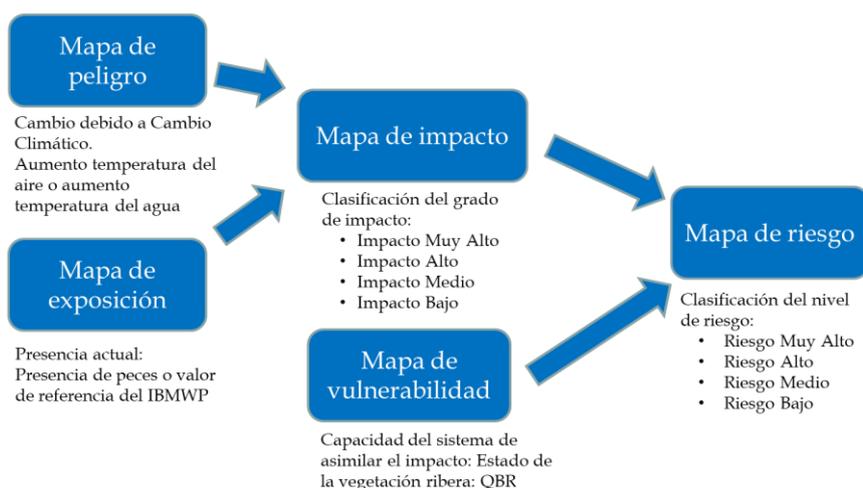


Figura 46: Esquema de la metodología propuesta para la determinación del riesgo asociado al cambio climático.

Los mapas de peligrosidad, considerada como: sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima o los impactos físicos de este [141], muestran la distribución espacial y temporal de una determinada variable en los diferentes escenarios de cambio climático planteados, como el aumento de la temperatura del agua o la reducción en el contenido de oxígeno disuelto en el agua, los cuales son obtenidos a partir del aumento en la temperatura del aire mediante las formulaciones empíricas recogidas en la literatura.

Los mapas de exposición, considerada como: la presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente [141], muestran la presencia o no de determinadas especies o los valores de referencia de determinados indicadores como el índice de macroinvertebrados IBMWP.

Los mapas de impacto, considerado como los efectos en los sistemas naturales y humanos [141], determinan el grado de afección que produce el cambio climático en el caso analizado. El mapa de peligrosidad permite calcular si se produce un deterioro en el estado de la masa de agua, debido al cambio en el indicador analizado, incremento en la temperatura del agua, reducción en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua u otros. La combinación de ambos mapas, peligrosidad y exposición, determina el grado de impacto que se produce en cada una de las masas. El criterio utilizado se define de la siguiente forma: si una masa expuesta (presencia de una determinada especie, o potencialmente con un buen estado) tiene una pérdida en el estado significativa, tendrá un Impacto Muy Alto, si tiene una pérdida del estado moderada tendría un Impacto Alto y si no cambia de estado o no está expuesta (no tiene la presencia de una determinada especie) tendría un No Impacto.

El mapa de vulnerabilidad, definida como: la propensión o predisposición a ser afectado negativamente en este contexto. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación [141]. Estos mapas incluyen información de la capacidad de adaptación del sistema, cómo por ejemplo del estado de la vegetación de ribera dado que la vegetación de ribera aumenta el sombreado en el agua, reduce la temperatura del agua, genera refugios para la fauna y mejora las condiciones del hábitat. Como indicador del estado de la vegetación de ribera se utiliza el Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR) [204], [203], que es un índice de aplicación rápida y sencilla, que integra aspectos biológicos y morfológicos del lecho del río y su zona inundable y los utiliza para evaluar la calidad ambiental de las riberas. El QBR se estructura en cuatro bloques independientes, cada uno de los cuales valora diferentes componentes y atributos del sistema: Grado de cubierta vegetal de las riberas; Estructura vertical de la vegetación; Calidad y la diversidad de la cubierta vegetal y Grado de naturalidad del canal fluvial. De esta forma se ha considerado que un buen estado de la vegetación de ribera reduce la vulnerabilidad al proporcionar zonas de sombreado y reducir la cantidad de radiación solar incidente sobre el agua, además de proporcionar refugios para el ecosistema. Por otro lado, un peor estado de la vegetación de ribera hace que el sistema sea más vulnerable al incremento de temperatura. La clasificación del índice QBR de la base de datos NABIA y de las Demarcaciones Miño Sil y Guadiana, con los valores de referencia de cada ecotipo como establece el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, clasifica el estado de la vegetación de ribera en Muy Bueno (Vulnerabilidad Baja) y Peor que Muy Bueno (Vulnerabilidad Alta).



Figura 47: Mapa de Vulnerabilidad en base a la vegetación de ribera mediante el índice QBR y el valor de referencia del ecotipo.

Finalmente, los mapas de riesgo, definido como: consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores, también para referirse a las posibilidades, cuando el resultado es incierto, de que ocurran consecuencias adversas para la vida; los medios de subsistencia; la salud; los ecosistemas y las especies; los bienes económicos, sociales y culturales; los servicios (incluidos los servicios ambientales) y la infraestructura [141], se han definido como una combinación del grado de impacto y de la vulnerabilidad, de forma que el riesgo es muy alto cuando el impacto es muy alto y se tiene una vulnerabilidad alta.

En el caso de la pérdida de hábitat para las especies de aguas frías, los resultados muestran el incremento gradual en el número de masas con riesgo alto o muy alto a lo largo del siglo XXI, afectando en primer lugar a los tramos medios y extendiéndose la zona de afección hacia las cabeceras de los ríos y las zonas más frías, como Galicia y la Cornisa Cantábrica. En el corto plazo, 2010-2040, entre 404 y 493 masas de agua tienen un riesgo muy alto, lo cual es debido a que presentan un impacto muy alto, debido a la pérdida del hábitat al superarse la barrera termal, y tienen una vulnerabilidad alta, debido a que presentan un estado de la vegetación de ribera Peor que Muy Bueno. Las masas identificadas con riesgo muy alto se sitúan en los tramos medios de los ríos. Además, entre 560 y 729 masas presentan un riesgo alto de pérdida de hábitat o de afección significativa al mismo. Entre estas masas se encuentran masas de la cornisa cantábrica. En conjunto en el corto plazo entre 970 y 1228 masas presentan un riesgo alto o muy alto de pérdida o reducción significativa de hábitat para especies de agua frías. En el medio plazo, 2040-2070, en conjunto entre 1571 y 2012 masas presentan un riesgo alto o muy alto de pérdida o reducción significativa de hábitat para especies de agua frías y se extienden por los tramos medios de los principales ríos y la zona de Galicia y la Cornisa Cantábrica. Finalmente, en el largo plazo, 2070-2100, hacia finales de siglo XXI un número muy significativo entre 1916 y 2823 de masas de agua con buen hábitat potencial en la actualidad presentan un riesgo alto o muy alto.

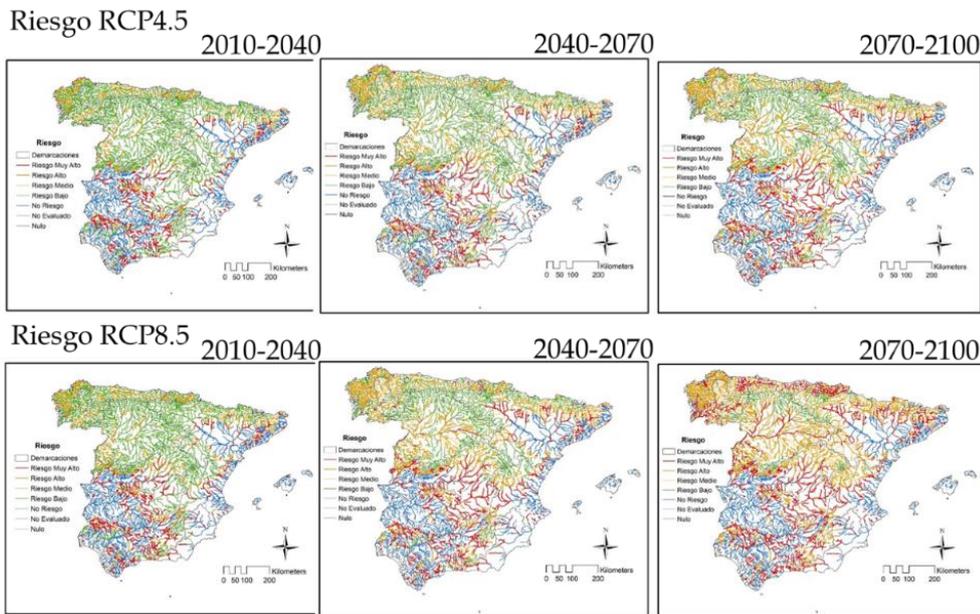


Figura 48: Evolución del Mapa de Riesgo de pérdida de hábitat para especies aguas frías a lo largo del tiempo. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5

En el caso de pérdida de oxígeno disuelto en el agua debido al incremento de temperatura, los resultados muestran, de igual forma, un incremento gradual en la temperatura del agua en agosto a lo largo del siglo XXI, lo que progresivamente reducirá el contenido de oxígeno disuelto en el agua. De esta forma, la evolución temporal muestra como gradualmente va aumentando el número de masas de agua con riesgo alto de que la reducción de oxígeno produzca que dejen de ser masa con altos contenidos de oxígeno disuelto ($>9 \text{ mgO}_2/\text{l}$). En el corto plazo, 2010-2040, la temperatura del agua aumenta entre 1.2 y $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$, lo que implica una reducción media en el oxígeno disuelto en el agua entre 0.20 y $0.25 \text{ mgO}_2/\text{l}$. En el medio plazo, 2040-2070, se produce un aumento de temperatura en agosto de 2.1 - $2.9 \text{ }^\circ\text{C}$ con una reducción en el oxígeno disuelto de 0.35 - $0.50 \text{ mgO}_2/\text{l}$. Y en el largo plazo, 2070-2100, se produce un incremento de temperatura de 2.7 - $4.7 \text{ }^\circ\text{C}$ que implica una reducción en el oxígeno disuelto en el agua 0.50 - $0.75 \text{ mgO}_2/\text{l}$. Con estas variaciones de temperatura ninguna masa tiene una concentración de oxígeno inferior a $5.5 \text{ mgO}_2/\text{l}$ en ninguno de los escenarios analizados, produciéndose reducciones que hacen que masas con altos contenidos de oxígeno ($>9 \text{ mgO}_2/\text{l}$) en la actualidad pasen a tener contenidos medios de oxígeno (entre 9 y $5.5 \text{ mgO}_2/\text{l}$). En el corto plazo, 2010-2040, entre 546 y 607 masas de agua tienen un riesgo alto de tener una reducción de oxígeno que haga que cambien de categoría de alta concentración a oxígeno a media concentración de oxígeno, este número es de entre 798 y 1104 en el medio plazo, 2040-2070, y finalmente de entre 1037 y 1587 en el largo plazo, 2070-2100.

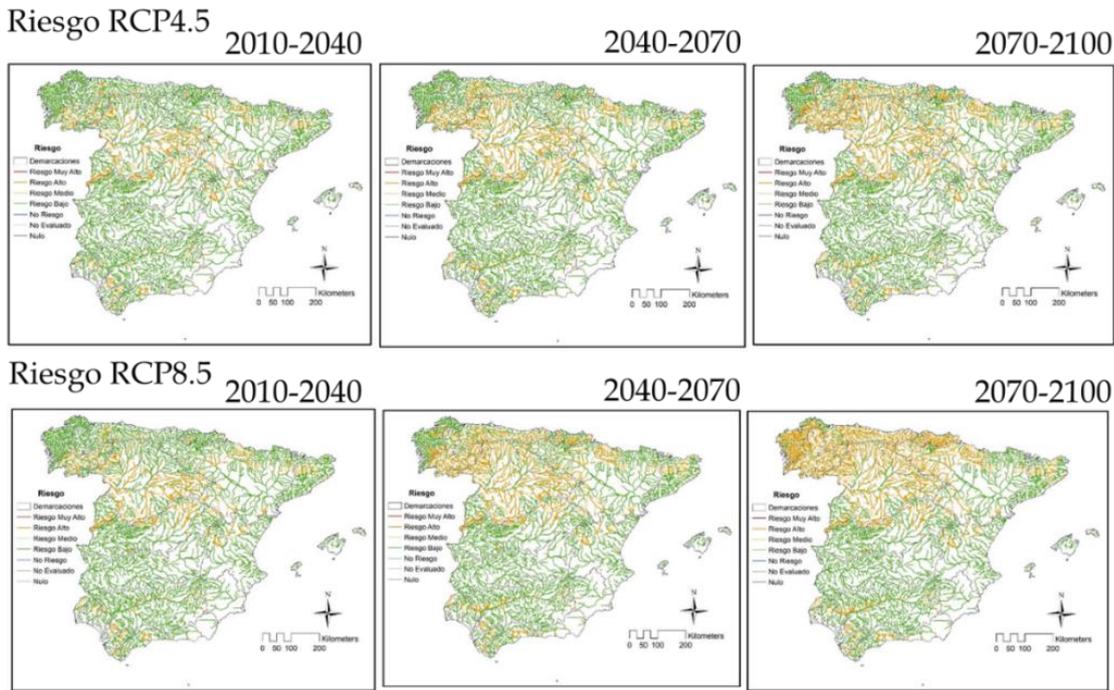


Figura 49: Evolución del Mapa de Riesgo de reducción de oxígeno disuelto en el agua largo del tiempo. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5

En el caso de afección a las familias de macroinvertebrados, a partir del grado de impacto y del mapa de vulnerabilidad basado en el índice QBR se determina el mapa de riesgo de afección a los macroinvertebrados. Los resultados muestran como los riesgos de afectar a los macroinvertebrados va incrementándose significativamente a lo largo del siglo, afectando a la práctica totalidad de las masas de agua superficiales a finales del siglo XXI. En el corto plazo, 2010-2040, entre 231 y 1637 masas de agua tienen un riesgo alto de afección a los macroinvertebrados, mientras que en el largo, 2070-2100, el incremento de la temperatura del agua se sitúa entre 1.7 °C y 3.1 °C, por lo que la afección a los macroinvertebrados es muy alta, entre 4140 y 4595 masas tienen un Riesgo Alto o Muy Alto de que se vean afectadas las familias de macroinvertebrados.

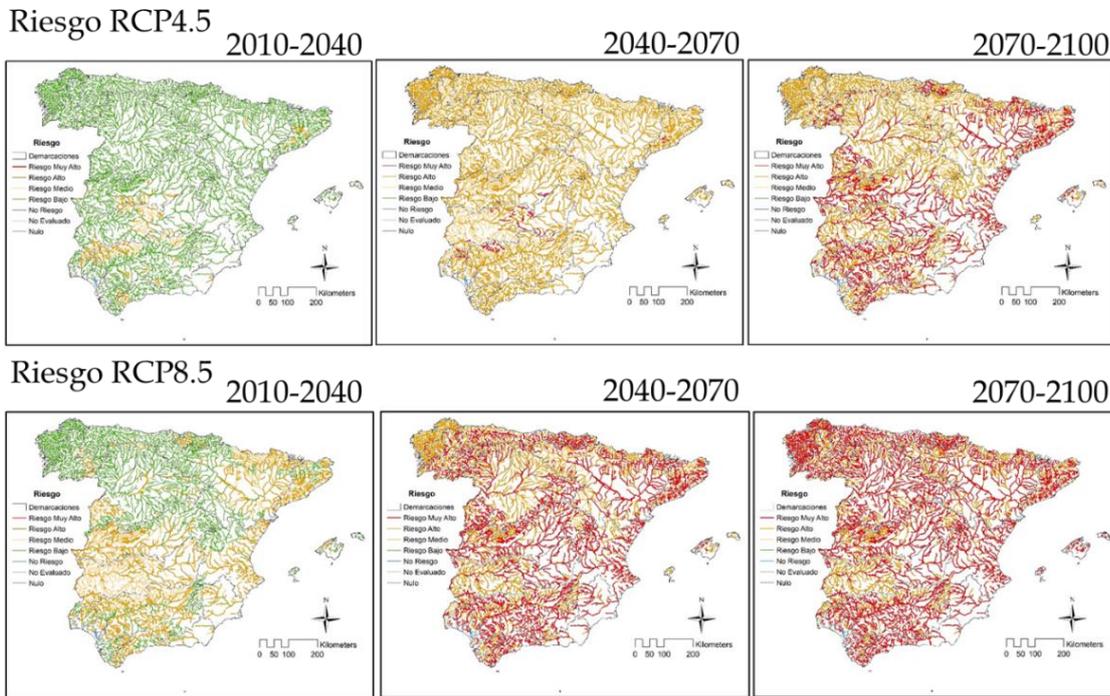


Figura 50: Evolución del Mapa de Riesgo de afección a los macroinvertebrados a largo del tiempo. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

En relación al efecto del cambio climático en los recursos hídricos y la disponibilidad de agua, todos los trabajos indican que debido al aumento de temperatura y el cambio en los patrones de precipitación [122] se producirá un descenso en los recursos naturales en las cuencas hidrográficas, incluyendo los recursos superficiales y los recursos subterráneos [98]. En la Demarcación Hidrográfica del Júcar se produce una reducción paulatina de los recursos naturales a lo largo del siglo XXI que llegaría a un final de siglo a una variación de -21% para el escenario RCP4.5 y de -36% para el escenario RCP8.5 [51]. La reducción en la disponibilidad de agua natural junto con un aumento en las necesidades de riego de los cultivos debido al aumento de temperatura y la reducción en la precipitación, incrementará el estrés hídrico en todas las cuencas hidrográficas y en mayor medida en las cuencas que en la actualidad presentan mayor estrés hídrico. En este sentido el proyecto, analizará los riesgos asociados para los usos de agua: uso urbano, uso agrícola, hidroeléctrico, recreativos y piscícola y analizará las medidas y estrategias para reducir la vulnerabilidad de frente al cambio climático. Entre las medidas de adaptación al cambio climático se encuentran la mejora en la eficiencia en el uso del agua [247], y la integración de la energía solar fotovoltaica en los esquemas de reutilización de aguas regeneradas en la agricultura y en la utilización de agua desalada, como medio de optimización económica para aumentar la disponibilidad de recursos a los usuarios del sistema. Ejemplos de estas aplicaciones son: la regeneración aguas depuradas del tramo final del Mijares y su transporte a Vall d`Uixó integrado con energía solar fotovoltaica; la regeneración y transporte de aguas con energía solar fotovoltaica en la zona de la plana de Valencia, la integración de energía solar fotovoltaica en

la desalación de aguas de Alicante, o en la regeneración y transporte de las aguas de depuradas de Alicante.

Conclusiones

Los escenarios de cambio climático indican para España un aumento progresivo de la temperatura del aire de 1°C en el corto plazo (2010-2040) hasta 4°C en el largo plazo (2070-2100), pudiendo llegar este aumento hasta los 5°C en el verano. Este aumento de temperatura del aire producirá un incremento en la temperatura del agua, el cual, a su vez, producirá una reducción en el hábitat potencial para las especies de aguas frías, una reducción en el oxígeno disuelto en el agua y afectará a los macroinvertebrados.

El incremento medio de temperatura del agua en agosto se estima entre 1.0 y 1.3°C en el corto plazo, 2010-2040, entre 1.8 y 2.4°C en el medio plazo, 2040-2070, y entre 2.2 y 3.9 °C en el largo plazo, 2070-2100. En el conjunto del año, la temperatura media anual del agua se estima que se incrementará en 0.7 y 0.8°C en el corto plazo, 2010-2040, entre 1.3 y 1.9°C en el medio plazo, 2040-2070, y entre 1.7 y 3.1 °C en el largo plazo, 2070-2100.

En el corto plazo, 2010-2040, entre 404 y 493 masas de agua tienen un Riesgo Muy Alto de pérdida de hábitat para las especies de aguas frías, lo cual es debido a que presentan un impacto muy alto, debido a la pérdida del hábitat al superarse la barrera termal, y tienen una vulnerabilidad alta, debido a que presentan un estado de la vegetación de ribera Peor que Muy Bueno. Entre 546 y 607 masas de agua tienen un riesgo alto de tener una reducción de oxígeno en el agua que haga que cambien de categoría de alta concentración a oxígeno (>9 mgO₂/l) a media concentración de oxígeno (entre 5.5 y 9 mgO₂/l), con la consecuente afección a las especies que requieren altos niveles de oxígeno en el agua. Finalmente, entre 231 y 1637 masas de agua tienen un riesgo alto de afección a los macroinvertebrados, que supera al 50% de los individuos. En todos los casos, el número de masas en Riesgo Alto y Muy Alto va aumentando significativamente a lo largo del siglo XXI.

El trabajo muestra los puntos en los que es conveniente profundizar en los análisis, los cuales son: en relación a los mapas de vulnerabilidad: la utilización de un indicador que muestre la capacidad de sombreado de la vegetación de ribera en las masas de agua, además de la identificación de todas las masas de agua superficial a las que las sueltas de agua fría, en los meses estivales, desde los embalses podría reducir la temperatura del agua. En relación a los mapas de exposición: identificar las masas de agua con presencia actual o presencia objetivo de trucha común o trucha marrón. En cuanto a los mapas de Peligrosidad: revisar las funciones que relacionan temperatura del aire y la temperatura del agua.

En base a los análisis realizados, la principal medida para reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático, que afecta al buen estado de las masas de agua, es la mejora de la vegetación de ribera, dado que proporciona zonas de sombreado, que reduce la radiación solar directa sobre el agua y por lo tanto reduce la temperatura del agua y, además, favorece la biodiversidad y los refugios para las especies. Los resultados muestran, asociados al gradual avance del aumento de la temperatura, un aumento de las masas en riesgo en las próximas décadas, lo que implica la necesidad de iniciar la implantación de las medidas de

adaptación y de un progresivo aumento de medidas en las próximas décadas. Otras medidas que también contribuyen a reducir el riesgo son: el aumento de las sueltas de aguas frías en los meses de verano desde los embalses de regulación para reducir la temperatura en las masas de agua situadas aguas abajo de los embalses; la disposición de refugios térmicos, la protección de las aguas subterráneas en los acuíferos conectados con el sistema superficial, ríos y lagos, de forma que permita el drenaje de aguas subterráneas, con menor temperatura, durante los meses de verano a las masas de agua superficiales que se encuentren en riesgo.

A lo largo del siglo XXI se producirá una reducción paulatina en los recursos hídricos naturales en España, este cambio en los recursos hídricos se situaría entre -13%, media de los modelos del escenario RCP4.5, y -24%, media de los modelos escenario RCP8.5 [51], con una mayor reducción en las cuencas del sur y del mediterráneo. En la Demarcación Hidrográfica del Júcar al cambio a final de siglo llegaría a -21% para el escenario RCP4.5 y -36% para el escenario RCP8.5 [51]. Esta reducción en los recursos naturales producirá una disminución en el agua disponible y un aumento es el estrés hídrico de las Demarcaciones. La integración de la solar fotovoltaica en los esquemas reutilización de aguas regeneradas y de agua desalada hace posible la utilización de estos recursos por los usuarios del sistema, reduciendo la vulnerabilidad de los mismos frente al cambio climático.

4.2.7. Propuesta para superar el paradigma del periodo de retorno en el análisis y mitigación de los riesgos por inundaciones en ríos

Andrés Díez Herrero

Instituto Geológico y Minero de España

Introducción: el periodo de retorno como paradigma

El **periodo de retorno** (normalmente abreviado por las siglas T ó Tr) es un parámetro estadístico que empezó a ser utilizado a finales del siglo XIX en los Estados Unidos de Norteamérica, a partir del estudio de Horton en 1896 sobre el Canal Bargue (estado de Nueva York), siguiendo recomendaciones de Rafter [62]. Pero con profusión se ha utilizado a partir de la primera mitad del siglo XX [109], [127] para medir la frecuencia de un caudal en una corriente fluvial o de la inundación en un determinado lugar.

Se trata de un parámetro con dimensión temporal que representa simplemente la **esperanza matemática** (asimilable a la media) de los periodos que transcurren entre la ocurrencia de un valor de una variable (que en este caso puede ser un caudal, o el calado y velocidad de una inundación), y que éste sea igualado o superado, en una serie de datos supuestamente infinita; esto es, dicho de forma simplificada, cuánto tiempo medio pasa entre que ocurren dos o más inundaciones de parecida magnitud. Cuando se expresa en años, equivaldría al inverso de la probabilidad anual de excedencia, o sea, el inverso de la probabilidad de que en un año se presente una avenida superior a un valor dado.

Para su cálculo se recurre a la aplicación de **modelos estadísticos**, compuestos de tres elementos: (i) el uso de datos únicamente locales (p.e. caudales de una estación de aforos) o regionales (p.e. una red de estaciones meteorológicas de una comarca homogénea); (ii) la utilización de fórmulas de asignación de la probabilidad muestral a cada dato de las series (de las que existe en la bibliografía técnica más de una docena distintas, como Weibull, Gringorten, California, Gumbel, Chegodayev...); y (iii) una función matemática de distribución de frecuencias de valores extremos con su método de estimación de los parámetros de la función (para lo que existen numerosas combinaciones, como LPIII+MOM, GEV+ML, TCEV+PWM, SQRT-ETmax...). Estos modelos estadísticos, para el caso de la estimación de los cuantiles de caudales de avenida para diferentes periodos de retorno, pueden aplicarse sobre series de caudales máximos registrados en estaciones de aforo [106]; o sobre series de precipitaciones máximas registradas en estaciones meteorológicas, a cuyos resultados luego se aplican modelos de transformación precipitación-escorrentía para obtener los caudales de crecida [105].

Por lo tanto, como es bien sabido, su valor **no tiene carácter predictivo**; esto es, no sirve para saber cuánto tiempo falta para que se produzca una futura inundación. A modo de

ejemplo simple explicativo, la inundación con periodo de retorno de 500 años, si ocurre hoy, no quiere decir que volverá a repetirse exactamente dentro de 500 años; podría producirse dos días seguidos y luego estar 1000 años sin volver a ocurrir. Tiene carácter relativo, esto es, permite comparar que, dos zonas con periodos de retorno diferentes, tendrán distinta inundabilidad media; como, por ejemplo, que se inundará con más frecuencia una zona de periodo de retorno de 50 años, que otra con periodo de retorno de 500 años. A pesar de ello, el concepto de periodo de retorno muchas veces ha sido mal empleado por los técnicos y, sobre todo, mal interpretado y utilizado por los gestores y autoridades políticas en sus declaraciones públicas y la toma de decisiones de las medidas de mitigación del riesgo de inundación.

El periodo de retorno como paradigma en la normativa española

Numerosísima legislación, normativa y recomendaciones utilizan el parámetro del periodo de retorno en España. Y no sólo están publicados en manuales, guías y códigos técnicos, sino que incluso aparece recogido en el Boletín Oficial del Estado, lo que parece concederle cierto aval jurídico y objetividad para su uso en estudios y decisiones de gestión. Sirvan como ejemplos, en relación con los riesgos por avenidas e inundaciones fluviales:

- **Ley de Aguas y el Reglamento del Dominio Público Hidráulico** (Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril [...] en materia de gestión de riesgos de inundación...); emplean el periodo de retorno de 500 años para la delimitación de la zona inundable; el periodo de retorno de 100 años en la delimitación de la vía de intenso desagüe y zona de flujo preferente; y ambos periodos de retorno en las autorizaciones o limitaciones de usos del suelo y ocupación de zonas inundables y zona de flujo preferente.
- **Evaluación y gestión de riesgos de inundación** (Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, con la que se traspone al ordenamiento jurídico español la Directiva 2007/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación); utiliza el periodo de retorno en la delimitación de la zona inundable ($T=500$ años) y vía de intenso desagüe y zona de flujo preferente (a partir de condiciones sobre $T=100$ años); también en los escenarios de los mapas de peligrosidad, tanto para la probabilidad media de inundación ($T \geq 100$ años), como la baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos ($T=500$ años). Resulta harto curioso que, mientras la Directiva europea sólo cita el periodo de retorno de 100 años para la definición de la 'probabilidad media de inundación' en los mapas de peligrosidad, en su trasposición al ordenamiento español se introdujera además el periodo de retorno de 500 años para la 'baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos' de la Directiva, que ella no indica a qué probabilidad corresponde.
- **Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones**, aprobada por Resolución de 31 de enero de 1995, de la Secretaría de Estado de Interior,

por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros; establece los periodos de retorno de 50 años (zona de inundación frecuente), 50 a 100 años (zonas de inundación ocasional) y 100 a 500 años (zonas de inundación excepcional) para el análisis de riesgos y zonificación territorial de todos los planes especiales de protección civil de ámbito nacional, autonómicos y de actuación de ámbito local.

- **Norma sobre drenaje superficial de la instrucción de carreteras**, en sus sucesivas versiones hasta la actual 5.2 IC de la Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, modificada por la Orden FOM/185/2017 de 10 de febrero y la Resolución de 26 de marzo de 2018, de la Dirección General de Carreteras; utilizadas para el diseño y dimensionamiento de sistemas de drenaje longitudinal y transversal de carreteras y muchas veces para el cálculo de caudales en pequeñas y medianas cuencas hidrográficas.
- **Normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses** (aprobadas por Real Decreto 264/2021, de 13 de abril); utiliza los periodos de retorno (entre 100 y 10.000 años) en el establecimiento de los niveles de las avenidas de proyecto y extrema, según la categoría de la presa (A,B,C) y la tipología constructiva (fábrica o materiales sueltos); estas mismas avenidas de proyecto y extrema condicionan el diseño y dimensionamiento de órganos de desagüe y la delimitación de las zonas inundables por rotura o inadecuada operación en los planes de emergencia de presas [230].

Además, el periodo de retorno tiene especial relevancia en diferentes reglamentos y documentos técnicos oficiales:

- **Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables**, creado por el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero y la posterior aprobación del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio); cuyas cartografías de peligrosidad y riesgo por inundaciones utilizan diferentes periodos de retorno ($T=10, 50, 100$ y 500 años); y la delimitación de la zona de flujo preferente, vía de intenso desagüe y zona de inundación peligrosa para las personas utilizan además el periodo de retorno de 100 años [255].
- **Máximas lluvias diarias en la España peninsular** [263], para diferentes periodos de retorno, que suelen ser los valores de partida en la estimación de caudales de crecida a partir de métodos hidrometeorológicos de transformación precipitación-escorrentía.
- **Mapa de caudales máximos**, CauMax [147], que permite obtener valores de caudal para elementos de la red hidrográfica para diferentes periodos de retorno y su cartografía.

Problemas y limitaciones del periodo de retorno como paradigma

Existe abundante literatura científica y técnica que pone en relieve las numerosas limitaciones e incertidumbres asociadas al uso del periodo de retorno como parámetro de análisis y gestión de la peligrosidad y riesgo por avenidas e inundaciones fluviales (ver la síntesis, referida a sus implicaciones cartográficas, en [66]). Muchos de los problemas proceden de la información de partida en la estimación del periodo de retorno, por el hecho de utilizar series de datos sistemáticos instrumentales (caudales, calados, velocidades) excesivamente cortas o no representativas de la situación o problemática que se quiere analizar o mitigar. Cuestión

que se suele tratar de paliar alargando las series con el uso de datos sintéticos (con metodologías tipo dobles acumulaciones, Monte Carlo, etc.) o la incorporación de datos no sistemáticos de tipo histórico-documental [107]; aunque muchas veces la ganancia estadística no justifica el esfuerzo en la adquisición de datos [285]. Otros de los problemas derivan de las propias metodologías de cálculo, por el uso de modelos estadísticos inadecuados, con funciones de distribución de valores extremos y métodos de estimación de parámetros inapropiados, sin tan siquiera aplicar procedimientos paramétricos y test de bondad de ajuste. El resultado de combinar las diferentes fórmulas y funciones es que, para una misma serie de caudales, los cálculos de periodos de retorno pueden variar hasta en un orden de magnitud en la estimación de los cuantiles [64], con las consiguientes incertidumbres y errores.

Otro problema de la aplicación del paradigma del periodo de retorno deriva de su uso como único parámetro para cuantificar la peligrosidad por inundaciones, prescindiendo de otros parámetros de la severidad de la inundación (calado, velocidad, carga sólida, energía...) y la dimensión espacio-temporal del anegamiento (tiempos característicos, duración de la inundación). Esto deriva en que dos inundaciones con el mismo periodo de retorno de sus caudales líquidos, tengan efectos y peligrosidad muy diferente sobre los bienes expuestos y vulnerables, por ejemplo, si tienen capacidad de transportar carga sólida en flotación, suspensión o fondo; o diferente capacidad erosiva del lecho del cauce fluvial. Este efecto de otros parámetros de la peligrosidad se ha tratado de subsanar con conceptos como el 'periodo de retorno equivalente' [253], para el caso de la influencia del transporte y depósito de la carga leñosa en avenidas torrenciales; pero que siguen sin resolver la problemática de que un solo parámetro trate de aglutinar toda la peligrosidad de la inundación.

Por otro lado, la proliferación de noticias de desastres y catástrofes asociadas a las inundaciones en los medios de comunicación ha generado en la Sociedad una percepción de que los enfoques probabilísticos del análisis de la peligrosidad dan una solución incompleta al problema: raro es el año en que se registra la máxima lluvia jamás medida; o que el valor del caudal de un río supera las previsiones de los periodos de retorno calculados; o que dos años consecutivos se producen los caudales estimados para 500 años de periodo de retorno. La publicación de hace una década en la prestigiosa revista *Tectonophysics* del artículo titulado "Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it" [284], planteó algunas de estas incertidumbres para el caso de los aparentes fallos en la elaboración de mapas de peligrosidad frente a terremotos en general, y particularmente en qué falló en la definición de escenarios para el terremoto de Tohoku (Japón) en 2011, que causó el conocido tsunami y desastre de Fukushima. Algo semejante se podría discutir en el caso de graves inundaciones ocurridas en lugares donde existían profundos estudios de riesgo utilizando periodos de retorno para el dimensionamiento de las medidas de mitigación, a pesar de las cuales el evento superó los parámetros de diseño de las actuaciones y causaron graves pérdidas y daños.

Complementos y alternativas para superar el paradigma del periodo de retorno

Por todo lo anteriormente expuesto, diversos organismos y prestigiosos institutos internacionales están dirigiendo sus esfuerzos a investigar en nuevos métodos para el establecimiento de los escenarios a utilizar en los estudios de peligrosidad. Escenarios que no se basen, al menos exclusivamente, en enfoques probabilísticos (empleando los periodos de retorno), sino que tengan como objeto de la investigación el fenómeno en sí mismo y su dimensión física: el **evento máximo físicamente posible** [65]; o que se basen en evidencias empíricas registradas instrumental, documental o naturalmente (registro geológico o biológico), en lo que se conoce como el **evento máximo registrado** [66].

Para investigar en los fenómenos naturales máximos capaces de producirse en un determinado territorio es necesario recurrir a los fundamentos de varias disciplinas relacionadas con la Historia Natural y en particular con la Geología y la Geomorfología, pues solo con una perspectiva temporal que abarque miles e incluso decenas de miles de años, se puede tener la seguridad de que en ese territorio ha ocurrido una o varias veces, ese máximo fenómeno físicamente posible. Por ello, los dos fundamentos del planteamiento general deberían ser:

- Conocimiento en profundidad del funcionamiento de los procesos físico-químicos que condicionan, desencadenan y rigen el desarrollo de las inundaciones y su peligrosidad, para establecer cuáles son los parámetros de magnitud máximos físicamente posibles en cada sector del territorio.
- Estudio del registro de eventos extremos del pasado reciente (periodo histórico y Holoceno), para la determinación de la magnitud máxima de estos fenómenos naturales en la última decena de miles de años.

Por ello, las disciplinas involucradas en estos estudios deberían ser la Paleohidrología, Arqueohidrología, Dendrogeomorfología [74], Liquenometría, etc., todas ellas temáticas de desarrollo muy reciente, interdisciplinarias y en el límite del estado de conocimiento [20] (Figura 51).

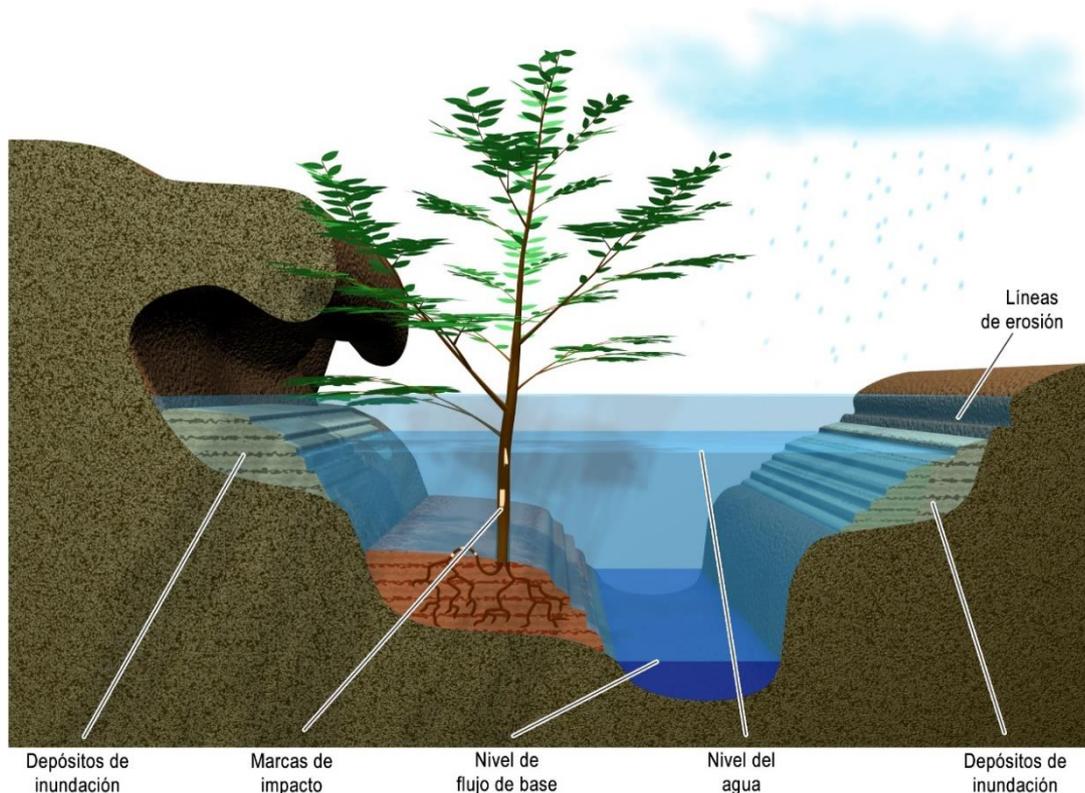


Figura 51: Localización característica de la información paleohidrológica de inundaciones (depósitos, marcas y evidencias) que se estudian mediante geomorfología, sedimentología, dendrocronología, liquenometría e hidráulica. [77]

De esta forma, estos parámetros empíricos (evento máximo físicamente posible y evento máximo registrado) serían un **complemento** a la tradicional estimación de los cuantiles para distintos periodos de retorno cuando se trate de analizar y mitigar riesgos de inundación para vidas humanas (protegidas por la Constitución Española), bienes materiales singulares, infraestructuras o flujos de servicios críticos y no renovables, como grandes presas y embalses, centrales nucleares, polos químicos e industriales, infraestructuras de transporte (autovías, aeropuertos, AVE...) o energía, o elementos patrimoniales como bienes de interés cultural [73]; para los cuales no tiene sentido emplear metodologías probabilísticas y sistemas de aseguramiento y reaseguro basados en los costes de reposición y pago del lucro cesante. Incluso, para bienes y servicios comunes asegurables y renovables, estos parámetros empíricos podrían ser una **alternativa** al uso de la estimación de periodos de retorno cuando la nula disponibilidad de datos o su escasa representatividad estadística, impiden la aplicación de modelos estadísticos con un mínimo de rigor.

Este planteamiento ni es nuevo, ni es una entelequia teórica. Muchas organizaciones internacionales e importantes centros de investigación y desarrollo técnico llevan décadas implementando estas metodologías en algunos de sus manuales y recomendaciones técnicas:

- Desde la década de 1980 la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) ha venido desarrollando metodologías y guías para la estimación de la llamada Máxima Precipitación Probable (PMP, por sus siglas en inglés) obtenida por una maximización de los eventos de tormentas registrados de acuerdo a parámetros físicos [310]. A partir de los valores calculados de PMP para diferentes áreas y duraciones, diversos centros de investigación hidrológica han propuesto calcular la Avenida Máxima Probable (PMF, por sus siglas en inglés), como el máximo caudal físicamente posible en un determinado tramo de la red fluvial. El método PMP-PMF es utilizado desde hace décadas para los análisis de riesgos de infraestructuras críticas en EE.UU., para lo que hay editados mapas y ábacos [298].
- El prestigioso *Hydrologic Engineering Center* (HEC) del *U.S. Corps of Engineers* (Ejército de los EE.UU. de Norteamérica), que produce *software* que millones de técnicos usan para evaluar el riesgo de inundaciones en todo el Mundo (HEC-RAS, HEC-HMS, HEC-FDA...), ha editado recomendaciones técnicas para incorporar la paleohidrología al análisis de frecuencia de inundaciones [129]. Esta inclusión de los datos paleohidrológicos en los caudales de diseño de presas ha permitido al *Department of Energy (U.S. Bureau of Reclamation)* acotar la parte alta de la función de distribución de frecuencias, y caracterizar el tramo asintótico de la función, cuyos valores se aproximan a la citada PMF.
- Una recopilación reciente sobre experiencias de éxito a nivel mundial de incorporación de la información paleohidrológica de inundaciones en guías metodológicas oficiales [283] ofrece una esperanzadora imagen de diferentes países donde se avanza significativamente, como es el caso de: Estados Unidos de Norteamérica [94], Australia, China [189] ... y España, que lo ha incorporado en la guía metodológica para la elaboración de mapas de peligrosidad de inundaciones del IGME [77], [76].
- En España, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y otras universidades y OPIs (UAM, UJaén, IPE...) han ensayado profusamente estas metodologías [20], [74] con éxito en diferentes cuencas españolas: Tajo medio, Guadalentín, Guadalhorce, Guadalquivir, Rambla Mayor, Rambla de la Viuda, Navaluenga, Arenal, Llobregat, Noguera Pallaresa, Taburiente, Bajo Duero, etc.; y su aplicación para el dimensionamiento de los órganos de desagüe de presas y embalses [24], [25], [26], [22] y la mejora de la estimación del riesgo de inundación en poblaciones [15]. Además, existe el proyecto de integrar las distintas bases de datos georreferenciadas parciales con datos de paleoinundaciones (Figura 52) en una única, llamada PaleoRiada, que sea de consulta abierta por la comunidad científico-técnica internacional a través de Internet.

Alguna legislación autonómica española ya está incorporando estas fuentes de datos alternativas, que ayudan a superar el concepto clásico del periodo de retorno y los métodos de su cálculo por simple análisis estadístico de caudales de aforo. Es el caso del Decreto número 258/2007, de 13 de julio, por el que se establece el contenido y procedimiento de los estudios de inundabilidad en el ámbito del Plan de Ordenación del Litoral de la Región de

Murcia. Este decreto, entre las fuentes de información del 'Estudio Histórico', señala la posible utilización de datos de paleocrecidas y dónde y cómo obtenerlos.

Una oportunidad perdida al respecto de la incorporación de las fuentes de datos paleohidrológicas ha sido la reciente actualización de las 'Normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses' (aprobadas por Real Decreto 264/2021, de 13 de abril), que vuelven a recurrir a todo un abanico de periodos de retorno (de 100 a 10.000 años), algunos de dudosa correlación con realidad física y de difícil estimación estadística sin incertidumbres, como los 10.000 años para el cálculo del nivel de la avenida extrema para presas de materiales sueltos de categoría A.

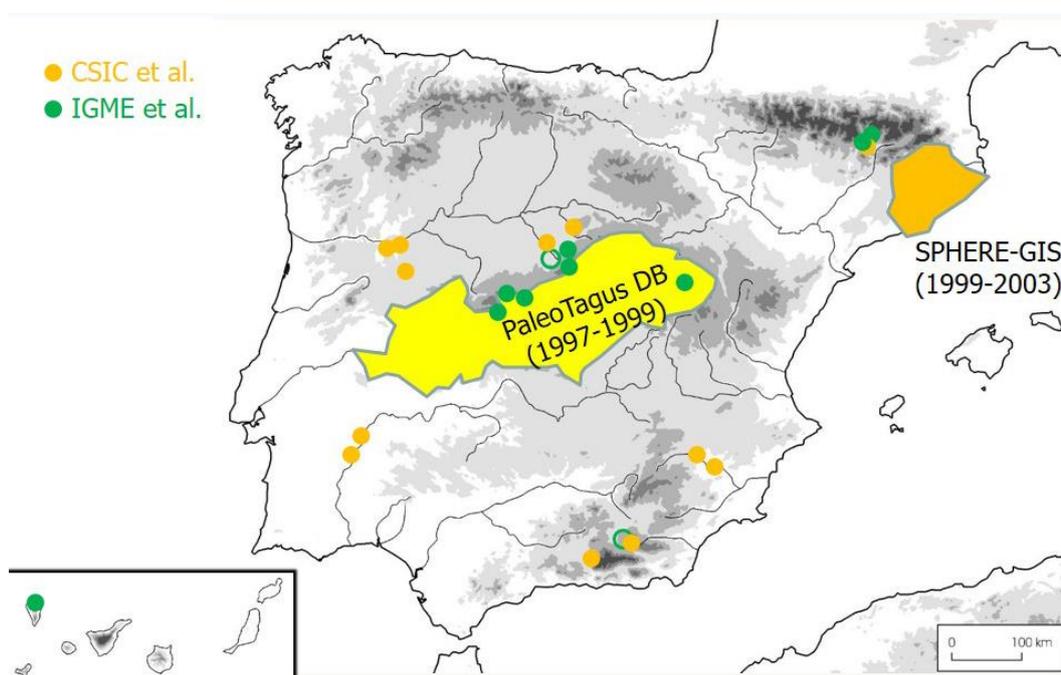


Figura 52: Localización de los estudios paleohidrológicos de inundaciones realizados o en curso en España y ámbito espacial de las bases de datos paleohidrológicas previas existentes. Leyenda: estudios paleohidrológicos con métodos geológicos y geomorfológicos (puntos naranjas); estudios paleohidrológicos con métodos dendrogeomorfológicos y liquenométricos (puntos verdes); estudios concluidos (círculos rellenos); estudios en desarrollo (circunferencias sin relleno).

Conclusiones

El periodo de retorno es un parámetro estadístico que se viene utilizando desde finales del siglo XIX para el análisis y la adopción de medidas de mitigación del riesgo de inundaciones. Sin embargo, tiene múltiples problemas conceptuales e incertidumbres técnicas en su estimación y aplicación, a pesar de las cuales figura en numerosa normativa publicada en el BOE y recomendaciones técnicas de uso extendido.

Otros parámetros, como el evento máximo físicamente posible y el evento máximo registrado se han propuesto y se están utilizando por diferentes organismos y legislaciones del ámbito

internacional e incluso autonómico, como complemento y alternativa al uso del periodo de retorno para riesgos relacionados con personas, los bienes materiales no renovables (patrimonio cultural) o las infraestructuras críticas (presas y embalses, centrales nucleares, transportes y energía).

Además, la incorporación de estas nuevas fuentes de datos y técnicas permiten incorporar las incertidumbres y rangos de variación derivados, no sólo del cambio climático, sino del cambio global, incluyendo modificaciones de los usos del suelo y la gestión del territorio.

Por todo ello, la superación o la búsqueda de alternativas y complementos al paradigma del periodo de retorno podría suponer una mejora en las soluciones a los riesgos en ríos y costas, sobre todo cuando están en juego las vidas humanas o la planificación, diseño, dimensionamiento o gestión de emergencias de infraestructuras críticas.

Agradecimientos

Esta propuesta deriva de los resultados y conclusiones de estudios financiados por proyectos de investigación que se han sucedido en el tiempo a lo largo de la última década y media, tanto del Plan Nacional de I+D+i (Dendro-Avenidas, MAS Dendro-Avenidas, MARCoNI, DRAINAGE); o financiados por organismos públicos de investigación como el IGME (GeoRiada y MIDHATO Venero). En los últimos años forma parte de la tarea GT1.T5 (Análisis de la incertidumbre y su propagación), del proyecto de investigación del Plan Nacional de I+D+i DRAINAGE (CGL2017-83546-C3-R MINEICO/AEI/FEDER, UE). El autor agradece la contribución de varios colegas que, con sus discusiones y comentarios, han ido enriqueciendo su visión de la problemática del periodo de retorno y sus alternativas, entre los cuales quisiera destacar a: Francisco J. Ayala Carcedo (Q.E.P.D.), Gerardo Benito (MNCN, CSIC), José M. Bodoque (UCLM), Jorge Olcina (UA), Miguel Ángel Rodríguez Pascua (IGME) y Julio Garrote (UCM).

4.3. Soluciones basadas en la naturaleza, infraestructura verde y restauración fluvial y costera

4.3.1. Restauración de sistemas dunares litorales

Carmen María Martínez-Saura^{1,2}, Pedro García Moreno¹, Jorge Sánchez-Balibrea¹, Pedro López Barquero¹

1. Asociación de Naturalistas del Sureste

2. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Murcia

Introducción

Los espacios costeros, uno de los más densamente ocupados tanto escala mundial como en muchas áreas de la costa mediterránea, han sufrido una progresiva degradación derivada de los usos, lo que disminuye la capacidad de respuesta ante diversas amenazas, como los efectos del cambio climático. La Asociación de Naturalistas del Sureste ha desarrollado durante casi dos décadas actuaciones para la restauración ambiental de áreas litorales en el Sureste Ibérico, que han acompañado a una intensa labor de denuncia ante las múltiples agresiones que sufren estos ecosistemas.

Estas actuaciones se han desarrollado por personal profesional propio, con la colaboración de voluntariado y el apoyo de entidades públicas y privadas entre las que se incluyen la Fundación Biodiversidad, entidad dependiente del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Administración Nacional (Demarcación de Costas) Regional y Local, como los Ayuntamientos de Cartagena, San Javier y Torre Vieja, fondos de la Unión Europea a través del Programa LIFE, empresas privadas y diversas asociaciones locales y regionales, entre las que se pueden destacar ARBA, La Ecocultural, o CREECT.

Antecedentes

Los ecosistemas costeros proporcionan diversos y abundantes recursos a la población humana, que incluyen la provisión de alimentos y otros bienes y servicios, la regulación de ciclos biogeoquímicos o la protección frente a diferentes riesgos, pero también aquellos relacionados con el ocio, la relajación y el disfrute, entre otros [128].

Las zonas próximas al litoral están altamente ocupadas, y su densidad de población a nivel mundial se aproxima al triple de la de áreas interiores [148]. En 2011, el litoral español era el hogar de más de un tercio de la población española y el 17% de su superficie estaba ocupada por usos artificiales; esta cifra aumenta notablemente en la franja mediterránea y sur, donde

el 32% de su superficie ya era artificial en esta fecha (franja 2 km), habiéndose incrementado esta artificialización un 45% entre 1987 y 2011 [97]. La Manga del Mar Menor es uno de los espacios donde se puede observar este fenómeno de una manera más extrema: entre 1956 y 2011, los espacios no urbanos (arena y roca) se redujeron a la mitad, mientras que la superficie urbanizada se multiplicó por más de 60 [257].

En general, el litoral del Sureste Ibérico está altamente ocupado por la actividad agrícola y desarrollos urbanísticos, destinados principalmente a uso turístico de segunda residencia. La visión utilitarista de los espacios de costa conlleva que, además de la progresiva ocupación del territorio, la gestión trate a estos territorios como áreas urbanas sin tener en cuenta aspectos básicos de conservación. Así, han proliferado las construcciones de infraestructuras que interrumpen los flujos de las corrientes marinas y terrestres, causando erosión y acumulación artificial de sedimentos, lo que se ha vendido en ocasiones como una solución para la pérdida de las playas o la llegada de fangos y, generalmente, ha agravado estos problemas; se han generalizado las prácticas de “limpieza” de las playas mediante el uso de maquinaria pesada, que conllevan la retirada de los arribazones de fanerógamas (*Posidonia oceánica*); y las prácticas generales han conllevado la progresiva desaparición de la vegetación autóctona, la pérdida de singularidad, extendiéndose las plantas nitrófilas y de bajo valor ecológico, la proliferación de especies exóticas invasoras y la compactación del territorio derivada del pisoteo o la circulación de vehículos.

Estas actuaciones han causado la ruptura del equilibrio natural del sistema duna-playa, acelerando el retroceso de la línea de costa, la regresión o desaparición de especies endémicas y la pérdida de naturalidad y del funcionamiento original del sistema. Esto aumenta la vulnerabilidad de los espacios litorales y su población ante los efectos del cambio global y es visible en los daños recientes a construcciones costeras tras los temporales. La restauración de estos espacios se configura como una de las principales herramientas para minimizar los efectos negativos del cambio climático sobre ellos, su población y las estructuras construidas.

Uno de los principales retos en un futuro próximo es mejorar el bienestar humano mediante un desarrollo sostenible sin la degradación del entorno, haciendo frente al cambio global y sus efectos. Esto precisa de un enfoque holístico que reconozca la complejidad de los ecosistemas litorales como áreas de transición con influencia marina, terrestre y, en la mayor parte de los casos, de humedales, así como de las interrelaciones de estos sistemas con las actividades humanas [296]; las medidas implementadas dependerán de aspectos como la estructura social, la capacidad Administrativa y la intención política, que deberán tenerse en cuenta a la hora de crear herramientas de gobernanza eficientes que avancen hacia la gestión sostenible [123].

Durante las últimas 4 décadas, las asociaciones de defensa de la Naturaleza han llamado la atención sobre la degradación y la ocupación de los espacios litorales. ANSE, cuya actividad se centra en el Sureste Ibérico, aunque también desarrolla actuaciones puntuales en otros espacios de la Península y del Mediterráneo, ha desarrollado una intensa labor de denuncia

contra la destrucción del litoral. Esta ha contribuido a la protección legal y efectiva de numerosos espacios naturales. Algunos ejemplos podrían ser la declaración de espacios como los Parques Regionales de Salinas y Arenales de San Pedro o Calblanque o las Áreas Marinas Protegidas de Cabo de Palos-Islas Hormigas o Cabo Tiñoso. Igualmente, se ha contribuido a la paralización de construcciones en espacios protegidos o la reducción de contaminación y vertidos. La lucha por la conservación del Mar Menor se configura como una de las principales y más icónicas campañas de la Asociación.

En la última década, la Asociación ha aumentado la dedicación al estudio y seguimiento de flora y fauna, así como a la restauración de espacios, siendo las áreas costeras del Sureste Ibérico uno de los ecosistemas más representativos de este tipo de actuaciones. Esta línea de actuación ha sido el hilo conductor de numerosos proyectos, algunos ya finalizados y otros en marcha, que han sido desarrollado con el apoyo de numerosas entidades, entre las que destacan la Fundación Biodiversidad, entidad dependiente del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Administración Regional y Local, como los Ayuntamientos de Cartagena, San Javier o Torre Vieja, empresas privadas, asociaciones locales y regionales y fondos de la Unión Europea a través del Programa LIFE (LIFE Salinas), sin despreciar los fondos propios aportados por ANSE. No hay que olvidar la colaboración de la población local y personal voluntario a través de iniciativas individuales, actividades organizadas y colaboraciones en el marco de programas de Responsabilidad Social Corporativa.

En la actualidad, otras actuaciones están siendo proyectadas, entre las que se prevé continuar con la restauración de nuevos arenales y humedales asociados.

Objetivos

El objetivo principal de la iniciativa ha sido recuperar la funcionalidad del ecosistema litoral en determinadas zonas litorales y establecer áreas reservorio de flora, con especial atención a las especies amenazadas y endémicas.

Así, la iniciativa pretende profundizar en la información disponible sobre el ecosistema y sus elementos, así como las variaciones que ha sufrido derivado de la alteración de estos espacios; recuperar ecosistemas litorales a nivel estructural y funcional, así como el espacio para la extensión y conectividad de estos espacios, y especies de flora de especial interés, como especies amenazadas, protegidas o endémicas locales y estableciendo reservorios para sus poblaciones; impulsar la gestión integral de los espacios litorales basada en la sostenibilidad y la compatibilización del uso de estos espacios con la conservación; mejorar la percepción social de las áreas litorales y aumentar la percepción de estos espacios como zonas naturales cuya gestión debe tener en cuenta el funcionamiento ecosistémico y minimizar la artificialización; y, en último término, mejorar la calidad del espacio natural para uso público y turístico creando espacios verdes y reservorios de arena para la recuperación de playas.

Acciones

A lo largo de una década, se han llevado a cabo diferentes actuaciones que han consistido en el estudio y seguimiento del ecosistema y sus cambios, actuaciones para la recuperación de varias hectáreas de arenas y humedales costeros en Dominio Público Marítimo-Terrestre, y la propuesta de iniciativas de conservación y pautas para el uso sostenible. De manera transversal, se han desarrollado diferentes intervenciones para impulsar la información y sensibilización de la población y los sectores sociales, sin olvidar la labor de denuncia de las actuaciones que suponen la alteración y destrucción del Patrimonio Natural.

1. Evaluación y seguimiento de la biodiversidad y el estado de los ecosistemas

Los proyectos desarrollados han incluido el estudio de los ecosistemas y su evolución, permitiendo evidenciar la degradación que han sufrido estos espacios.

Cabe destacar la evaluación histórica de las dunas y su vegetación de La Manga del Mar Menor en el periodo 1956-2011, en el que se pone en relieve la progresiva artificialización que ha sufrido este espacio, reduciéndose a la mitad los espacios no urbanos, de los que menos de la mitad son arenas, y cómo se vio acelerado entre las décadas de 1980 y 2010. El resultado del urbanismo ha resultado en una acusada disminución de la superficie de arenal y una gran fragmentación de las poblaciones de flora dunar (Figura 53) [97], pero también la persistencia de poblaciones de diversas especies de flora amenazada. Igualmente, se han desarrollado estudios de supervivencia de las actuaciones de restauración desarrolladas [256].

Posteriormente se publicó una cartografía de las praderas de fanerógamas marinas, que detallaba la distribución de diferentes especies de la vegetación sumergida de los fondos de la Laguna del Mar Menor y las Encañizadas. La información recopilada mostraba una mayor superficie y un mejor estado de conservación de las especies de fanerógamas respecto a lo considerado y permitió la base para la posterior evaluación de la degradación y retroceso de dichas praderas como consecuencia del proceso de eutrofización que sufrió la laguna (Figura 54) [19].

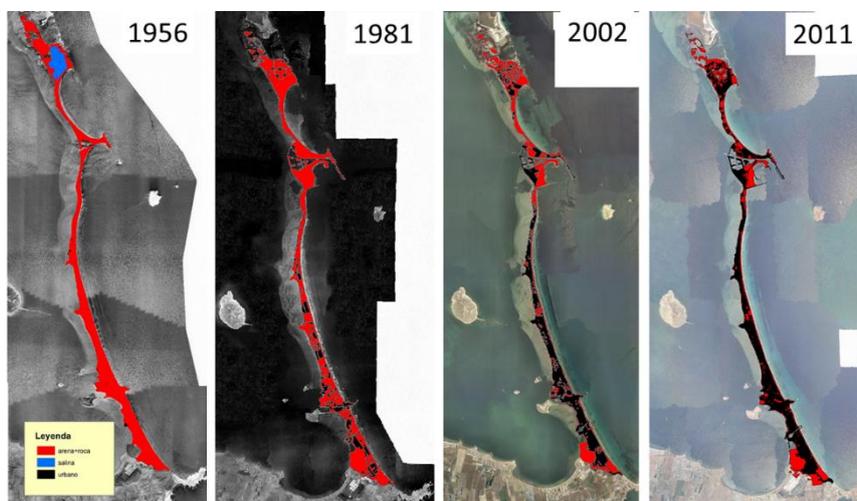


Figura 53: Representación del aumento de suelo urbano desde 1956 a través de interpretación de imágenes aéreas. Se observa la desaparición de suelo no urbanizado, especialmente a partir de la década de los 80. Fuente: Sánchez-Balibrea et al., 2013 [97].

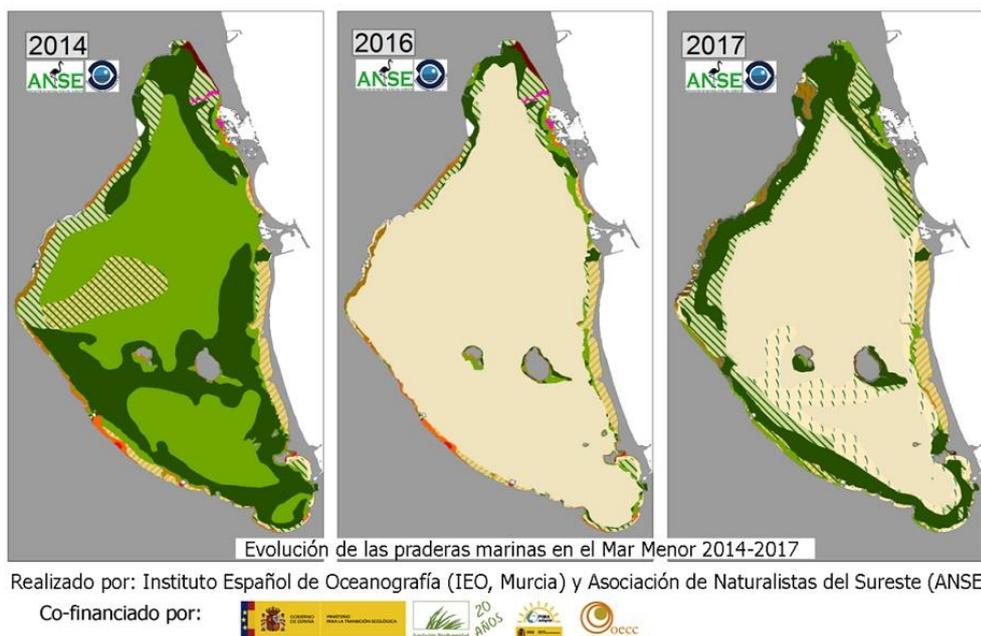


Figura 54: Evolución de las praderas de fanerógamas sumergidas del Mar Menor. Fuente: Belando et al, 2017 [19].

2. Restauración de espacios litorales

Se han desarrollado actuaciones de restauración en sistemas dunares en el Sureste Ibérico, destacando los ejecutados en el entorno del Mar Menor y de Torrevieja; así como la recuperación de otros espacios litorales como humedales o saladares del Dominio Público Marítimo Terrestre.

Estas labores han incluido la eliminación de especies exóticas invasoras, como acacias (*Acacia* sp pl.), uña de gato (*Carpobrotus edulis*), o piteras (*Agave americana*), mediante arranque, generalmente por medios manuales. Excepcionalmente se ha empleado maquinaria pesada cuando el tamaño de los ejemplares a eliminar así lo requería, como ocurrió en el paraje de Monte Blanco, en La Manga, para arrancar y eliminar acacias, o en Lo Poyo, en la ribera interior del Mar Menor, para llevar a cabo el arranque de eucaliptos (*Eucalyptus* sp.).

En los frentes de arenales mediterráneos (La Manga del Mar Menor o Torrevieja) se han instalado estructuras para la captación de arena, diseñados en cada caso en función de la orientación del tramo de costa frente a los vientos predominantes. Los captadores permiten recuperar la estructura de duna en arenales donde tradicionalmente se había extraído arena para su posterior uso en la recuperación de playas en época estival. La recuperación de estos pequeños frentes dunares ha permitido recuperar espacios para la vegetación autóctona existente, permitiendo generar más espacio para especies típicas de arenales.

La última acción desarrollada ha sido la plantación de especies de vegetación autóctona. Entre las especies seleccionadas se encuentra algunas protegidas y destaca la Esparraguera del Mar Menor (*Asparagus macrorrhizus*), la sabina de las dunas (*Juniperus turbinata*) o la zanahoria marítima (*Echinophora spinosa*). También se han reintroducido ejemplares de enebro de las dunas en arenales de Torrevieja. Esta especie desapareció en el Sureste Ibérico debido a la tala y alteración de la costa.

Estas plantaciones han contado con labores mantenimiento, incluyendo riegos y cuidados culturales durante los dos primeros años, especialmente en los periodos estivales. Estas tareas han aumentado el éxito en la supervivencia de los plantones introducidos, superando el 50% de arraigo en todos los espacios y el 70-80% en algunos de ellos. Se ha realizado reposición de marras en los casos que ha sido necesario.

En zonas específicas como el Saladar de Lo Poyo (Paisaje protegido Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor y Red Natura), se han eliminado caminos y senderos ilegales mediante el labrado de su superficie y la instalación de vegetación señalizada con protectores. Esto, unido a la instalación de cartelería informativa ha eliminado prácticamente la apertura de nuevos senderos no autorizados, mejorando el estado de la vegetación y la conectividad del espacio.



Figura 55: Arriba: actividades de plantación con apoyo de voluntariado durante el proceso de restauración de arenales; Arriba izquierda: en el Molino del Agua, Torrevieja. Arriba derecha: En la Manga del Mar Menor. Abajo resultados de recuperación dunar en espacios de las mismas localidades.

3. Información, sensibilización y participación y elaboración de propuestas

Todas las actuaciones han llevado aparejadas labores de difusión a través de diferentes medios, lo que ha mejorado notablemente la opinión pública sobre estos ecosistemas y la aceptación de ciertas medidas. Entre estas labores se encuentran las webs y redes sociales de la Asociación, así como envío de circulares informativas a diferentes medios de información, pero también la instalación de cartelería interpretativa en los lugares de actuación.

Igualmente, las actuaciones se acompañan de labores de sensibilización con estudiantes y organizaciones, que han incluido actividades en aula, talleres y visitas y plantaciones. De manera paralela, se desarrollan actuaciones participativas de voluntariado con la ciudadanía local y visitante, así como asociaciones y empresas que han desarrollado iniciativas de Responsabilidad Social Corporativa, entre las que los participantes han colaborado en las actuaciones de seguimiento y restauración desarrolladas.

También se han desarrollado propuestas para la ordenación y la gestión de espacios, como puede ser la liberación de zonas de costa, para lo que se han desarrollado encuentros y reuniones con Administraciones Públicas responsables de la gestión.



Figura 56: Izquierda: actividades de información y divulgación. Derecha: cartelería interpretativa instalada en zonas de actuación.

4. Labor reivindicativa y de denuncia

La labor de denuncia ha sido diversa y compleja, habiendo sido más intensa en el entorno del Mar Menor. Después de varios años de denuncias por la degradación de diferentes espacios naturales o desarrollos urbanísticos, en la década de los 90 del pasado siglo se ponía en marcha una campaña más global por la protección de este espacio. Desde entonces, las acciones judiciales y administrativas se han alternado con actuaciones reivindicativas y publicaciones informativas.

Algunas actuaciones exitosas tras campañas llevadas a cabo por la Asociación derivaron en la declaración de espacios como los Parques Regionales de Salinas y Arenales de San Pedro o Calblanque, la anulación de la recalificación de suelos en Lo Poyo, la eliminación de chiringuitos ilegales en la Isla Perdiguera o la paralización de la construcción de Puerto Mayor en la Caleta del Estacio.

Igualmente, se ha denunciado la reiterada roturación de arenales con presencia de especies de interés que habían sido propuestos como microrreserva de flora en La Manga, una figura que no ha llegado a tramitarse desde la Administración Regional.



Figura 57: Izquierda: estado de una parcela propuesta como microrreserva de flora tras ser roturada, actuación que fue denunciada por ANSE. Derecha: acción reivindicativa para la recuperación de la Caleta del Estacio tras la paralización de la construcción de Puerto Mayor.

Resultados

Las actuaciones a lo largo de varias décadas han permitido conservar y restaurar espacios costeros. Así, la acción reivindicativa y de denuncia ha contribuido a la declaración de los mencionados Espacios Naturales Protegidos, la paralización de transformaciones y desarrollos urbanísticos, así como al desarrollo normativo en temática ambiental.

Las actuaciones demostrativas han conllevado la restauración de más de 7 hectáreas en Dominio Público Marítimo Terrestre, recuperando especies endémicas, habiendo multiplicado su población, y aumentando la acumulación de arena para la formación de dunas, que en ocasiones han sido utilizadas para la recuperación de áreas erosionadas sin necesidad de extraer sedimentos del fondo marino; se ha mejorado la conectividad en espacios protegidos degradados por la existencia de caminos; se ha realizado el seguimiento de la evolución de ecosistemas terrestres y acuáticos; y se han desarrollado labores para la divulgación, sensibilización y participación, mejorando la percepción sobre las áreas costeras.

Discusión

El trabajo continuo para la protección y recuperación del litoral ha permitido, por una parte, obtener datos para estudiar la evolución de los ecosistemas ante las presiones ambientales; y por otra parte, la restauración de arenales y otros espacios litorales. Los resultados muestran una gran efectividad de las actuaciones de restauración [256], a pesar de su bajo coste, gracias en parte a la colaboración y participación de entidades y de la ciudadanía, lo que aumenta, a su vez, la aceptación e implicación de la población en la recuperación ambiental.

Sin embargo, las actuaciones llevadas a cabo en el Dominio Público Marítimo Terrestre o en espacios protegidos no han permitido frenar el avance de la artificialización y la pérdida del ecosistema y ejemplares de especies amenazadas en las áreas ya declaradas como urbanizables, a pesar de las propuestas para la paralización de las construcciones y de la liberación de suelo ocupado con la demolición de un número limitado de viviendas unifamiliares de segunda residencia. La recuperación de arenales ocupados por construcciones permitiría asegurar la conectividad de los arenales y dar una vía de escape en la migración de estos ecosistemas ante procesos inevitables como el retroceso de la línea de costa. Medidas similares se están llevando a cabo en otros Estados Europeos como Reino Unido o Francia, principalmente mediante reservas privadas de ONGs en el primer caso y a través de la compra pública gestionada por el Conservatorio del Litoral, entidad perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente en el segundo [176].

Conclusiones y líneas futuras

La recuperación del litoral a través de Soluciones basadas en la Naturaleza es un método efectivo para hacer frente a los efectos del cambio climático a través de medidas sencillas con costes reducidos. Se ha comprobado que las actuaciones de restauración permiten aumentar los números poblacionales de especies escasas en periodos cortos. La información y la participación aumenta la aceptación social de las medidas; igualmente, la colaboración con otras entidades aumenta la eficiencia de la gestión.

Sin embargo, es necesario frenar la pérdida de hábitat y aumentar el espacio que permita una conectividad de los arenales con el fin de asegurar el intercambio genético y la dinámica dunar.

Entre las próximas actuaciones previstas se incluye la recuperación de un sector (aproximadamente 2 ha) de la Caleta del Estacio como actuación previa a la restauración de las 25 hectáreas que conforman el total del arenal. Esta pequeña cala actualmente invadida por acacias iba a ser ocupada por la construcción de un puerto y diversas infraestructuras. Igualmente, la adquisición de la concesión de la parte oriental de las Salinas de Marchamalo permitirá restaurar un humedal adyacente al Mar Menor con el fin de fomentar la biodiversidad acuática y recuperar la actividad salinera.

Otra de las propuestas de ANSE consiste en la recuperación de ciertos arenales, a través de la adquisición de áreas urbanizables y el derribo de un número limitado de viviendas unifamiliares. Estas actuaciones permitirían asegurar la conectividad de los arenales y dar una vía de escape en la migración de estos ecosistemas ante procesos inevitables como el retroceso de la línea de costa. Esto se ha demostrado que es viable en otros países europeos.

Las recomendaciones de gestión incluyen, entre otras medidas, la eliminación o reducción del uso de maquinaria en las labores de limpieza y mantenimiento de las playas, evitando la eliminación de los arribazones de fanerógamas y minimizando la erosión costera, lo que resulta imprescindible a la hora de hacer frente a los efectos del cambio climático sobre el litoral.

Estos cambios en el manejo de la costa podrían favorecer la reproducción de especies amenazadas como la tortuga boba, que en el verano de 2020 realizó la primera puesta conocida de la historia reciente en La Manga.

4.3.2. Proyecto DRAINAGE: Diseño de una metodología para incrementar la resiliencia ante inundaciones compatible con la mejora del estado de las masas de agua y la gestión sostenible de los recursos hídricos

José María Bodoque¹, Javier Álvarez Rodríguez², Andrés Díez Herrero³

1. Universidad de Castilla-La Mancha

2. Centro de Experimentación de Obras Públicas

3. Instituto Geológico y Minero de España

Información básica

El **proyecto DRAINAGE** fue aprobado en la convocatoria de 2017 del Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad y cuenta con un presupuesto total de 174.240 euros. DRAINAGE es un proyecto coordinado por la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), en el que también participan como socios beneficiarios el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). En el proyecto participan 33 investigadores adscritos a las instituciones que lideran el proyecto, así como a la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), la Universidad Complutense de Madrid (UCM), la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), la Universidad de Valencia (UV), la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), la Universidad de Alicante (UA) y la Escuela Nacional de Protección Civil (ENPC-DGPCE, MI).

Antecedentes

En los últimos años se está produciendo un cambio de modelo de gestión del riesgo de inundación hacia un enfoque de **gestión integrada**, pues la adopción de soluciones estrictamente estructurales no es sostenible desde un punto de vista ni hidrológico ni ambiental, y tampoco es garantía de protección total. Así, medidas de mitigación del riesgo como las motas, suelen llevar a la pérdida de conexión lateral entre los ríos y su llanura de inundación, conllevando la pérdida de buena parte de los servicios ecosistémicos ligados al medio fluvial. Este tipo de medidas también tienen potencial para incrementar los daños aguas abajo por los cambios que generan en el funcionamiento hidrogeomorfológico y ecológico del río, o incluso in situ, en caso de que las medidas fallen o se vean superadas. Asimismo, no son garantía absoluta de mitigación del riesgo debido a que en su diseño frecuentemente no se han tenido en cuenta los efectos a futuro del cambio climático, o el análisis de la incertidumbre ni su propagación entre los distintos componentes que la integran [305].

Por tanto, la **gestión del riesgo** está abandonando el principio de protección absoluta, comenzándose a promover en su lugar estrategias más proactivas, que se fundamentan en la **gestión integral del riesgo** (Figura 58). Así, en los últimos años se está promoviendo el diseño de planes de gestión en los que la minimización del riesgo, basada en la caracterización de la incertidumbre inherente al proceso de análisis y gestión del riesgo, y el reforzamiento de la resiliencia social son objetivos compatibles con la conservación o restauración de la integridad ecológica de las zonas de ribera e inundables. En este contexto, el concepto de **resiliencia** proporciona un marco práctico que facilita que los planes de gestión identifiquen medidas tangibles capaces de reducir la vulnerabilidad y, que de resultados de ello, se mejore la gestión del riesgo [32]. En los últimos tiempos este concepto ha ganado peso, gracias a iniciativas de las Naciones Unidas como el Marco de Acción de Hyogo (operativo durante el periodo 2005-2015) y del actualmente vigente Marco de Sendai que se desarrollará durante el periodo 2015-2030. Con estos programas, se pretende reducir el riesgo en base a aumentar el conocimiento de todas las dimensiones sociales implicadas (percepción social, nivel de conocimiento de la población en relación con el riesgo y su gestión, exposición, vulnerabilidad social y económica).

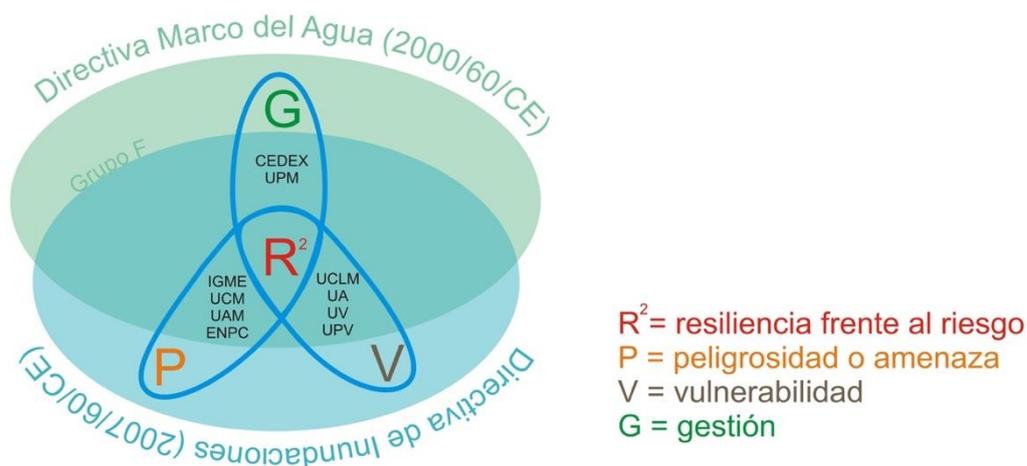


Figura 58: Esquema del marco conceptual del proyecto DRAINAGE, a caballo de las Directivas europeas Marco del Agua y de Inundaciones.

Objetivos

La publicación y puesta en práctica de la **Directiva Marco del Agua** (Directiva 2000/60/CE) y de la **Directiva Europea relativa a la evaluación y gestión de los riesgos por inundación** (Directiva 2007/60/CE) obliga a un cambio de modelo en relación a cómo debe abordarse el análisis y gestión de los riesgos por inundaciones.

La aprobación de estas dos directivas, así como el aval que en el año 2005 la ONU dio al Marco de Acción de Hyogo y recientemente, en 2015, al Marco de Sendai, que reemplaza al anterior, está implicando que progresivamente se esté produciendo un cambio desde un

modelo eminentemente resistivo (basado en la adopción de medidas estructurales y cuya finalidad es mantener a la población alejada de las inundaciones) hacia otro en el que la mejora de la resiliencia, o capacidad de adaptación de los sistemas urbanos y ecológicos, ante la ocurrencia de inundaciones es el objetivo principal a conseguir en los planes de gestión del riesgo. Como resultado, se requiere de **esquemas de gestión integradores** (Figura 59), que junto con la rigurosa caracterización de los procesos físicos que dan lugar a la génesis de inundaciones y su incertidumbre asociada también consideren las componentes socio-económica y ambiental.

De acuerdo con el contexto expuesto en los párrafos previos, el **objetivo principal** del proyecto **DRAINAGE** es mejorar la resiliencia de las zonas urbanas y periurbanas ante inundaciones, en base al diseño de estrategias de mitigación del riesgo fundamentadas en el uso de infraestructuras verdes que, además, sean compatibles con un buen estado de las masas de agua y con la gestión sostenible de los recursos hídricos. Asimismo, se pretende implicar a la población afectada, favoreciendo un cambio de actitudes hacia una gestión óptima del riesgo de inundación y de prácticas ambientalmente sostenibles. Los **objetivos específicos** que se abordarán son:

- Analizar la incertidumbre del análisis de la peligrosidad y el riesgo por inundaciones.
- Desarrollar cartografías de riesgo con criterio probabilístico.
- Diseñar una estrategia de gestión basada en las infraestructuras verdes que, además de mitigar el riesgo, sea compatible con el buen estado de las masas de agua.
- Evaluar el potencial de las infraestructuras verdes para restaurar los servicios ecosistémicos.
- Analizar la relación coste-beneficio de las infraestructuras verdes desde las perspectivas económica y ambiental.
- Incorporar a los planes de gestión la percepción social del riesgo.
- Diseñar e implementar una estrategia de comunicación destinada a cambiar las creencias y actitudes sobre las mejores medidas destinadas a mitigar el riesgo y mejorar el estado de las masas de agua.
- Evaluar cuantitativamente la resiliencia ante inundaciones.
- Poner en práctica estrategias de difusión y de transferencia del conocimiento que generen valor.

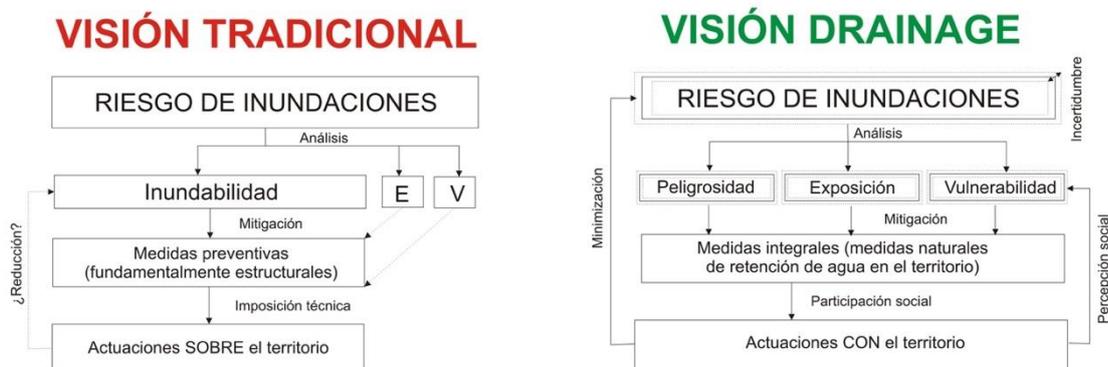


Figura 59: Esquemas comparativos de la concepción tradicional del análisis y gestión del riesgo por inundaciones, frente a la visión integrada propuesta por DRAINAGE.

Acciones

El análisis y gestión integrada del riesgo por inundaciones requiere del diseño y puesta en práctica de aproximaciones metodológicas interdisciplinares, que tengan en cuenta las **dimensiones implicadas (físicas, socio-económicas y ambientales)**. Para poder aplicar con éxito este enfoque interdisciplinar, el proyecto DRAINAGE se sustenta en tres pilares:

Capacidad demostrativa del proyecto. Para ello, se seleccionó un área de estudio que permitiera poner en práctica, probar y evaluar la aproximación metodológica propuesta en **DRAINAGE**, de manera que pueda ser replicada a otros contextos geográficos, ecológicos y socioeconómicos similares a los aquí propuestos. En concreto, se seleccionó el tramo del **río Duero** comprendido entre los municipios de **Toro y Zamora** (Figura 60), dado que reúne las características idóneas para abordar los objetivos planteados en el proyecto. Este tramo presenta un trazado claramente meandriforme, lo cual confiere a su llanura de inundación una alta capacidad para laminar crecidas. Asimismo, es lo suficientemente largo (40 km) como para demostrar que esta capacidad de laminación es suficiente para reducir el riesgo. También tiene numerosas motas a lo largo de su curso, lo cual implica que ha perdido buena parte de la conectividad lateral con su llanura de inundación. Por último, el tramo presenta varias zonas ARPSIs (Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación) y forma parte de la Red Natura 2000: LIC “Riberas del Río Duero y Afluentes”— Código ES4170083 circunstancias éstas que, junto con las razones aducidas en las líneas previas, hacen que este tramo de río Duero sea idóneo como sitio de estudio demostrativo del proyecto **DRAINAGE**. De forma complementaria, se han ensayado otras metodologías en otros ámbitos del territorio con características o problemáticas distintas al área de estudio. En concreto, también se han estudiado: zonas montañosas (cuenca de Venero Claro, Ávila); pequeños núcleos de población del piedemonte de la Sierra de Guadarrama (Pajares de Pedraza, Segovia); y ramblas mediterráneas (Barranc de Carraixet, rambla del Pollo, Rambla de Castellana, Rambla de Gallinera y Río Vernissa), con objeto de contrastar las metodologías en otros ámbitos geográficos y problemáticas distintas a la de la zona piloto principal.

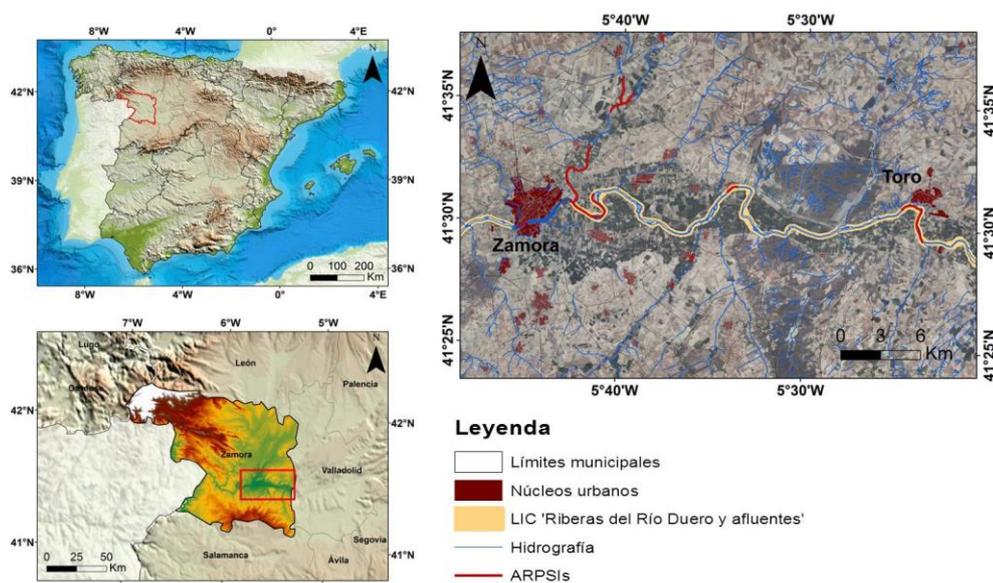


Figura 60: Localización del tramo del río Duero objeto de estudio piloto principal en la propuesta DRAINAGE

Apoyo de Entes Promotores Observadores (EPOs). Un proyecto como **DRAINAGE** que, entre sus impactos esperables, está hacer compatible el desarrollo de la Directiva Europea de Inundaciones con los objetivos fundamentales de la Directiva Marco del Agua, así como con los establecidos en el **Marco de Sendai** para la reducción de riesgos por desastres, requiere que haya organismos públicos y empresas interesadas en los resultados del proyecto. El proyecto **DRAINAGE** cuenta con el apoyo de los organismos públicos responsables de la puesta en práctica de las dos Directivas y del Marco de Sendai: i) Dirección General del Agua, DGA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, MAPAMA); ii) Confederación Hidrográfica del Duero; iii) Agencia de Protección Civil de la Junta de Castilla y León; y iv) Dirección General de Patrimonio Cultural (Junta de Castilla y León). Asimismo, el proyecto cuenta con el apoyo de las consultoras INCLAM S.A y AQUATEC, PROYECTOS PARA EL SECTOR DEL AGUA. Se trata de dos consultoras líderes en el sector del agua, y con potencial para poner en valor las metodologías y los resultados que se deriven del proyecto.

Enfoque interdisciplinar. DRAINAGE cuenta con expertos en análisis de la peligrosidad y el riesgo por inundaciones, la restauración fluvial, el análisis de la percepción social, análisis de la vulnerabilidad, y la caracterización y valoración económica de servicios ecosistémicos. Además, algunos de los investigadores del proyecto forman parte de grupos de trabajo interdisciplinares (de ámbito nacional y europeo) en los que se discuten y elaboran textos normativos, o que asesoran técnicamente a diferentes órganos de la administración general del Estado, administración autonómica y local. Entre ellos, cabe destacar: i) Comisión Técnica del Comité Español de la Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres, coordinada por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias; ii) Grupo de Trabajo para la elaboración del Plan de Coordinación y Apoyo sobre Reconocimiento e información de

áreas siniestradas, dentro de los Planes Estatales de Protección Civil; iii) Grupo de Inundaciones de la Dirección General del Agua (MITECO), y en su comisión técnica asesora; iv) Grupo de I+D+i sobre inundaciones de la DGA, recientemente creado para cumplimiento de la Directiva y su trasposición. Por su parte, miembros del proyecto DRAINAGE también son miembros del grupo de expertos europeo en hidromorfología integrado en ECOSTAT WG 2.A. (*European working group dedicated to the ecological status of surface water bodies, within implementation of the Water Framework Directive*), así como del programa *The Water Joint Programming Initiative (Water JPI)*.

Resultados

El **proyecto DRAINAGE** ha dado lugar a resultados relacionados con las dimensiones socioeconómica, física y ecosistémica del análisis y la gestión de los riesgos por inundaciones.

1. Dimensión socioeconómica

El proyecto DRAINAGE ha dado lugar a resultados en dos vertientes; por un lado, en el diseño y puesta en práctica de un protocolo para la integración del **análisis de las partes interesadas (stakeholders)** a la gestión integrada de los riesgos por inundación y, por el otro, en el diseño y puesta en práctica de **planes de comunicación**.

Respecto del **análisis de las partes interesadas**, en DRAINAGE se ha explorado la transición gradual que está teniendo lugar en la gestión de riesgos de inundación (GRI) desde un anticuado enfoque de resistencia basado puramente en infraestructuras grises, hacia esquemas integrales, más proactivos, en los que la base principal son las **soluciones basadas en la naturaleza (SbN)**. En particular, hemos enfocado nuestra atención en el papel que la implicación de los *stakeholders* tiene en el diseño de las estrategias de gobernanza del tipo de abajo hacia arriba, las cuales son las más apropiadas para la efectiva implementación de las nuevas visiones, en contraste con los antiguos y anquilosados sistemas de arriba hacia abajo.

En el análisis hemos detectado que, hasta el momento, es muy difícil establecer una estrategia exitosa de abajo hacia arriba ya que las redes existentes no son muy extensas y están débilmente cohesionadas, especialmente aquéllas que se refieren a los temas más específicos de la estrategia de gestión: el riesgo de inundaciones y el estado ecológico del río. Bajo esas condiciones, las posibilidades de establecer relaciones sólidas entre los *stakeholders* con información, ideas, intereses, preocupaciones, innovaciones, planes y contribuciones creativas que fluyan en todas las direcciones dentro de las redes del río son ciertamente limitadas. En consonancia, sin unos vínculos más intensos y extensos en los que todos los *stakeholders* se sientan bien representados, es muy improbable que procesos colaborativos y efectivos, basados en el entendimiento, la asimilación y la aceptación común de las políticas y acciones necesarias puedan ser implementados.

Sin embargo, en nuestro análisis, identificamos algunos **stakeholders centrales** que, además son los más poderosos desde un punto de vista financiero e institucional, y que merecen

centrar la atención para desarrollar la estrategia. Ellos son los más conectados y juegan un papel de intermediarios muy prometedor para establecer puentes con los demás *stakeholders*. Además, hemos encontrado que alguno de esos actores destacados son entusiastas de las SbN y la implicación de los actores, así como defensores de enfoques holísticos. Tras este análisis, lo que ha quedado claro es que la efectiva implementación del nuevo paradigma de la GRI requiere un profundo y detallado entendimiento del sistema social implicado o afectado. De otro modo, es muy probable fracasar ya que el sistema adolece de la falta de legitimidad y colaboración que son indispensables.

Por otro lado, se ha diseñado **una estrategia de comunicación del riesgo para Zamora** (en realidad dos planes de comunicación adaptados a la situación pandémica de la CoVID-19); y se ha creado un Foro de debate en el que actualmente están participando 69 personas, que representan a los colectivos sociales de la ciudad de Zamora y a las instituciones y entidades más relacionados con el río Duero, sus inundaciones y la gestión medioambiental.

En la zona de estudio secundaria de Venero Claro (Navaluenga, Ávila) se ha continuado con la **estrategia de comunicación del riesgo a la población infantil** de los campamentos estivales [72], donde se han realizado las actividades de educación en el riesgo en las temporadas 2018 y 2019 (en 2020 se suspendieron con motivo de la pandemia), con encuestas de conocimiento y percepción previas y posteriores a las actividades para valorar su efectividad [130]. Estas actividades han sido galardonadas con el Premio de la Fundación Botín al Talento Joven en la Gestión del Agua 2018; una Mención de Honor de la final del concurso Ciencia en Acción 2019; y han tenido enorme repercusión mediática.

2. Dimensión física

A partir desarrollo de las acciones de **análisis de riesgo de inundación** se han obtenido resultados como: una completa caracterización hidrológica de las avenidas e inundaciones de las zonas de estudio; la modelación hidráulica de las corrientes fluviales y torrenciales; la evaluación socioeconómica de daños potenciales; el análisis de la incertidumbre en el riesgo y su propagación en el proceso de análisis; la cartografía de riesgos de inundación; y el análisis del coste-beneficio de las medidas de mitigación del riesgo.

Concretamente, para la zona de estudio principal del proyecto (tramo del **río Duero entre Toro y Zamora**) se han recopilado y recalculado los cuantiles de caudales punta de avenida para diferentes periodos de retorno, tanto en Toro como en Zamora y las posiciones intermedias (Peleagonzalo, Fresno de la Ribera, Villalazán, Villaralbo), utilizando análisis de valores extremos con diferentes modelos estadísticos, completado de series con técnicas de Monte Carlo y aplicación de herramientas geoestadísticas sobre sistemas de información geográfica (STARS con R y ArcGIS; [205]); también se ha cuantificado y analizado la laminación de caudales punta y aportaciones anuales entre Toro y Zamora, y los tiempos de viaje de la onda de crecida para una veintena de eventos de avenida entre 2018 y 2021. Además, se ha realizado la restitución de las series de caudales del río Duero y afluentes principales a su régimen natural y el análisis de la capacidad del sistema río Duero-Ilanura de inundación para

mitigar el riesgo de inundaciones; y se ha mejorado el modelo digital del terreno de la zona urbana de Zamora para su uso en modelación hidráulica. Se ha realizado un análisis y propagación de incertidumbres en el análisis estadístico de caudales de avenida del Duero en Toro; y la incorporación de las incertidumbres hidráulicas a la cartografía de zonas inundables y el riesgo de inundación aguas arriba de la ciudad de Zamora [125]. Finalmente se ha estimado el riesgo económico sobre las infraestructuras de transporte (carreteras, ferrocarril), obteniéndose pérdidas monetarias potenciales para diferentes periodos de retorno [60].

En las **zonas de estudio secundarias del proyecto** (Venero Claro y Navaluenga-Ávila-, Pajares de Pedraza -Segovia-, Castilla y León, Castilla-La Mancha y las ramblas mediterráneas) también se han obtenido múltiples resultados: mantenimiento y descarga periódica de datos de la red hidrometeorológica de Venero Claro, con decenas de eventos de precipitación y avenidas súbitas, y un análisis sobre la optimización de la ubicación y precisión del instrumental [270], [314]); estudios del régimen de precipitaciones y caudales de las avenidas súbitas en las ramblas mediterráneas; un análisis del riesgo de inundación al que están sometidos los bienes de interés cultural situados en zonas inundables de todo Castilla y León; una propuesta metodológica para la calibración de las cartografías de riesgo de inundación en Castilla-La Mancha utilizando las llamadas telefónicas al teléfono de emergencia; la incidencia de la sobreelevación de la planta baja en la estimación del riesgo económico; y un análisis coste-beneficio de las medidas de mitigación del riesgo de inundación en Pajares de Pedraza [116] y su aplicación al planeamiento urbanístico.

También se han obtenido **resultados de aplicación general**, bien de carácter metodológico y conceptual, como en relación con: un protocolo para la incorporación de la información paleohidrológica botánica al análisis estadístico de caudales de avenida [33]; el análisis del riesgo de inundación y su cartografía; y las relaciones entre el patrimonio y el riesgo de inundación.

3. Dimensión ecosistémica

El análisis del estado de **calidad eco-hidromorfológica** de las masas de agua (hidromorfológico, físico-químico y biológico), se ha realizado con datos procedentes de la Confederación Hidrográfica del Duero y de las campañas de campo realizadas durante el periodo de trabajos de DRAINAGE.

En aplicación del **Protocolo de caracterización hidromorfológica** M-R-HMF-2019 (abril 2019) [193] se ha llevado a cabo la sectorización inicial de las masas de agua en tramos hidromorfológicos (de 4,8 a 9,9 km de longitud) y en subtramos representativos de muestreo (de 1,1 a 1,8 km de longitud). Los trabajos de campo evidenciaron las complicaciones que entraña la evaluación de algunos atributos hidromorfológicos en grandes ríos, por lo que se aplicaron técnicas complementarias para poder evaluar todos los atributos requeridos en el mencionado Protocolo. Se emplearon trabajos batimétricos previos para la identificación de perfiles longitudinales y pendientes ribereñas, se seleccionaron barras e islas accesibles para muestreos granulométricos representativos de la composición de sedimentos de la sección del río estudiada y se complementaron con fotos tomadas mediante dron para mejorar el

conocimiento de los atributos de la vegetación ribereña, así como para caracterizar obstáculos transversales y longitudinales. El resultado de la aplicación del protocolo hidromorfológico en la masa 396 indica que los atributos que no alcanzan el muy buen estado serían: i) caudal e hidrodinámica, ii) variación de la profundidad y anchura y, especialmente, iii) estructura de la zona ribereña.

Como trabajos complementarios a la caracterización geomorfológica, se realizaron **esquemas geomorfológicos multitemporales del meandro de Las Argañas**, o del Plantío Viejo (Zamora), mediante fotointerpretación estereoscópica de fotografías aéreas y ortofotografías correspondientes a los años entre 1945 y la actualidad, resaltando los elementos característicos del cauce y la llanura de inundación y su evolución espacio-temporal [63]. Asimismo, se realizó un **levantamiento batimétrico del cauce del río Duero** entre Toro y Zamora, que fue depurado y mejorado para obtener como resultado la batimetría del Duero y sus márgenes.

Para la caracterización del **estado físico-químico**, se seleccionaron las estaciones representativas de las masas de agua en estudio [190]: estación 062 (masa 395), URS-74 (masa 396) y A-14 (masa 397). Son más de 30.000 registros desde el año 1974 hasta el año 2017 con los que se estudian las principales tendencias respecto a los umbrales fijados en el RD 817/2015 por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Las tendencias decrecientes son mayoritarias entre los parámetros analizados, mientras que la temperatura del agua, la DQO y el pH muestran tendencias crecientes.

Para el análisis del **estado biológico** se cuenta con 300 registros desde el año 2000, que permiten analizar las tendencias de los índices biológicos como el índice de fauna bentónica de invertebrados (IBMWP), que resulta determinante para asignar un estado ecológico moderado en la mayoría de los años analizados.

Los **servicios ecosistémicos culturales** se han definido en DRAINAGE como lugares de valor paisajístico o recreativo del entorno fluvial que pueden ser alterados por la gestión fluvial frente a inundaciones. Su identificación y evaluación son cuestiones abiertas dependientes de la elaboración de inventarios de puntos de interés y de la evaluación de su relevancia y de su vulnerabilidad frente a las inundaciones o a las estrategias de gestión.

La realización del inventario se ha llevado a cabo principalmente mediante 3 procesos:

1. Consulta en la administración local y autonómica, particularmente en la Dirección General de Patrimonio Cultural de Castilla y León entre cuyas actividades está la elaboración del catálogo de los denominados Bienes de Interés Cultural.
2. Recopilación de hechos históricos y toponimia en el área, así como la realización de un inventario de actividades artísticas relacionadas principalmente con la literatura, poesía y cinematografía.
3. Finalmente, el desarrollo de una base de datos de fotografía histórica y del trabajo de campo en el tramo del río Duero en estudio. La base de datos se ha denominado

Otero y se ha programado con las herramientas de Microsoft Access considerando datos geográficos de la localización de la fotografía para integración en Sistema de información geográfica, el año o época aproximada en la que se realizó, la fuente o colección a la que pertenece y el autor.

Discusión

Durante el desarrollo **del proyecto DRAINAGE** se han dado un par de circunstancias, que han determinado que la fecha de finalización del proyecto, inicialmente prevista para el 31 de diciembre de 2020, se haya prorrogado al 30 de septiembre de 2021. Tales circunstancias son, por un lado, el desfase temporal existente entre el inicio oficial del proyecto (1 de enero de 2018) y su comienzo efectivo, en julio de 2018, coincidiendo con la liberación de los fondos asignados. Como resultado, a efectos prácticos, se perdió medio año de ejecución del proyecto. Por otro lado, se han producido retrasos en las actividades de campo, laboratorio, gabinete y reuniones presenciales derivados de la emergencia sanitaria del COVID 19. Precisamente, las olas de contagios que se están sucediendo, han condicionado el desarrollo del plan de comunicación del proyecto que, inicialmente se previó que estuviera articulado en torno a actividades de carácter presencial, que han sido reemplazadas por talleres telemáticos dadas las circunstancias.

A pesar de las limitaciones descritas en el párrafo previo, las tareas previstas en el proyecto DRAINAGE se están desarrollando de acuerdo con lo inicialmente previsto, de manera que durante lo queda de vigencia del proyecto DRAINAGE se está en disposición de abordar todos los objetivos que inicialmente se plantearon.

Conclusiones

En el **proyecto DRAINAGE**, se están aplicando metodologías novedosas que permitirán una caracterización fiable del riesgo basado en la caracterización de todos los procesos implicados, así como en la evaluación de la incertidumbre y su propagación. En paralelo, se ha integrado el análisis de las partes interesadas (*stakeholders*) en el análisis y la gestión del riesgo. Para disminuir la vulnerabilidad, al tiempo que mejorar la capacidad de adaptación de las zonas urbanas, se han diseñado medidas de gestión basadas en la recuperación de la capacidad geomorfológica de las llanuras de inundación para laminar las inundaciones y retener agua y sedimentos. De este modo, se ayuda a mejorar el estado de las masas de agua al facilitarse la recuperación de los hábitats fluviales, entendiendo que tal recuperación es compatible con la puesta en práctica de modelos de crecimiento sostenible basados en una economía verde. En definitiva, el proyecto DRAINAGE responde a la demanda social de elaborar medidas innovadoras de adaptación y prevención del riesgo, que además sean compatibles con el desarrollo de un modelo económico basado en la protección y la gestión sostenible de los recursos hídricos.

En el futuro próximo, se pretende ahondar en trabajos de investigación centrados en el análisis y la gestión integrada de las inundaciones, en los que se aborden todas las dimensiones implicadas: social, física y ecosistémica.

Agradecimientos

Las acciones y resultados presentados en este trabajo han sido financiados por el proyecto de investigación del Plan Nacional de I+D+I DRAINAGE (CGL2017-83546-C3-R MINEICO/AEI/FEDER, UE).

4.3.3. Conexión hidrológica y mejora de hábitats en los meandros del tramo bajo del río Arga (Navarra)

Gonzalo Magdaleno Payán

Dirección General del Agua, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

Antecedentes

Hasta mediados del siglo pasado, el tramo bajo del río Arga - próximo a la confluencia con el río Aragón - discurría con un trazado meandriforme en una amplia llanura de inundación libre de obstáculos longitudinales. El tramo siempre ha experimentado crecidas y avenidas con cierta frecuencia. Como consecuencia, a lo largo de los años, las poblaciones ubicadas en su ribera (Falces, Peralta y Funes) han venido soportando numerosas inundaciones con las consecuentes pérdidas económicas.

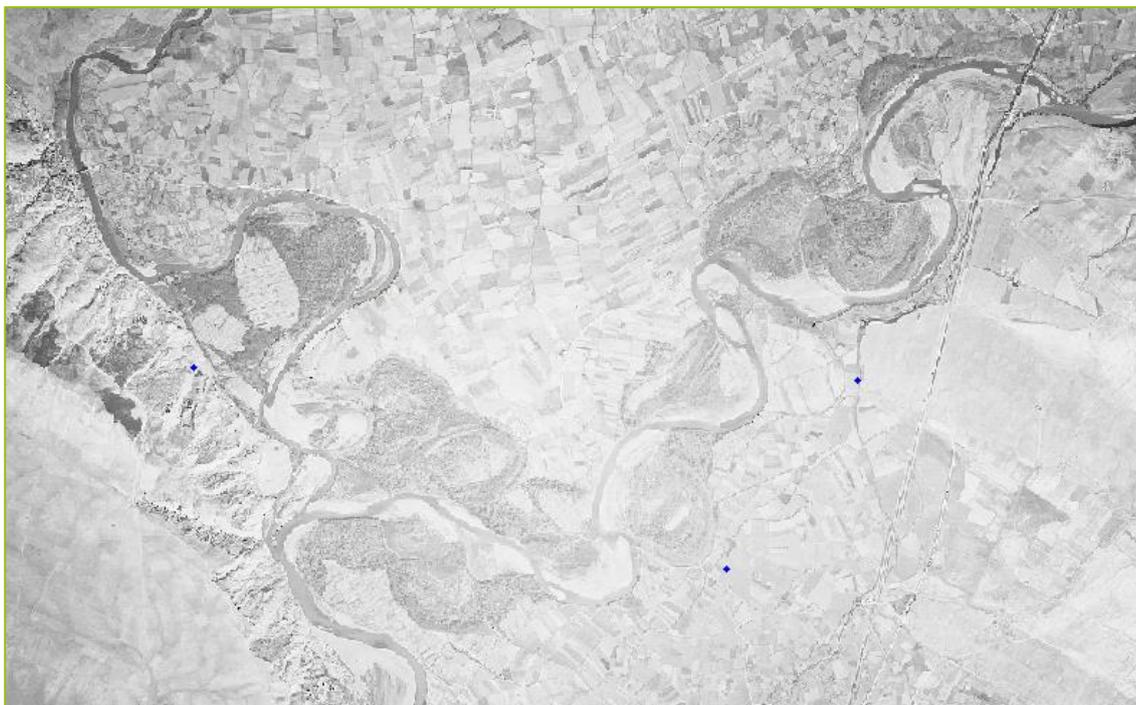


Figura 61: Vuelo fotogramétrico de la confluencia entre el río Arga y el río Aragón de 1945-46 Americano (Fototeca digital del IGN)

En el año 1959 se empieza a considerar necesario intervenir el tramo para contener sus crecidas. Entre las medidas estudiadas se propone la rectificación y canalización del río en el tramo desde la población de Falces a la desembocadura en el río Aragón. A partir de 1966 se comienza a dragar, se perfilan las secciones y se construyen motas para ampliar la capacidad de desagüe y fijar las márgenes. Estas actuaciones culminaron con la apertura de cortas y

posterior desconexión del río, de los tres meandros finales (Soto la Muga, Soto Gil y Ramalhondo y Soto Sardilla). En 1986, tras diferentes fases y proyectos, se consigue una rectificación del tramo final del cauce del río Arga.



Figura 62: Vuelo fotogramétrico de la confluencia entre el río Arga y el río Aragón de 2017 (Fototeca digital del IGN)

Tras la rectificación del cauce han acontecido un gran número de avenidas (1981, 1992, 1993, 1997, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008, 2013, 2015, 2018 y 2019) con grandes inundaciones en el tramo final de ambos ríos. La experiencia acumulada en diversos episodios ha puesto de manifiesto que la canalización, proyectada para conducir 1.350 m³/s, solamente es capaz de desaguar 950 m³/s (equivalente a una avenida de 10 años de periodo de retorno). Para caudales mayores, el Arga se desborda ocupando la llanura de inundación original en la que se incluye parte del núcleo urbano de Funes, edificado en la margen izquierda del río Arga. No en vano, en el año 1985, la Comisión Nacional de Protección Civil consideraba el último tramo del río Arga como de máximo riesgo de inundación.

Todos estos fenómenos se han visto agravados en los últimos años debido a los efectos del cambio climático. Según los datos de aforos en cuencas poco o nada reguladas (sin embalses), como la del Arga, se ha detectado un aumento de la frecuencia e intensidad de inundaciones por el deshielo (Ebro Resilience, 2020) con el aumento de la temperatura media y máxima. Visualizando los caudales superiores a la media de los máximos anuales (540 m³/s) medidos en la estación de aforos situada en la localidad de Funes (Navarra), se concluye que entre 2002 y 2018 se ha superado este valor en 21 ocasiones (16 años de datos), mientras que desde 1979 hasta 2002 solo se superó en 9 ocasiones (23 años de datos).

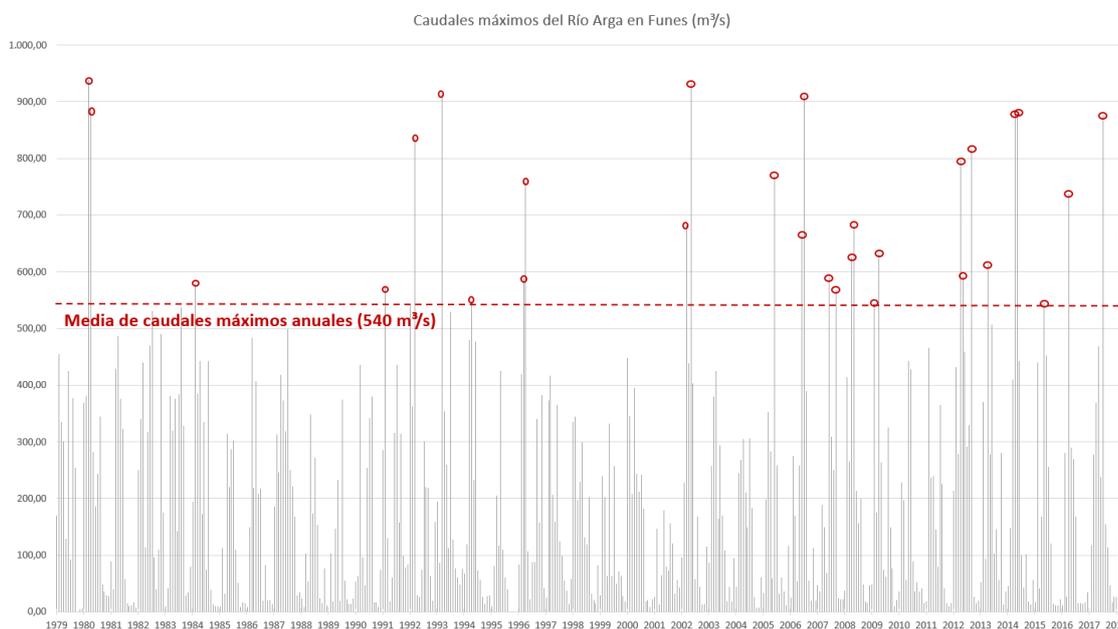


Figura 63: Caudales máximos anuales del río Arga en Funes (Navarra). Se aprecia un incremento en la frecuencia de los episodios de crecidas en las últimas décadas (Confederación Hidrográfica del Ebro)

Además, el acortamiento que conllevó la canalización y desconexión de los meandros produjo un aumento en la velocidad de circulación de las aguas que ocasionó un desequilibrio morfológico en el río Arga. Se observa también una incisión remontante en el lecho del cauce (de hasta cinco metros en la desembocadura) que ha desconectado las riberas del río.

Estas alteraciones morfológicas en el río Arga y Aragón y el desequilibrio geomorfológico alcanzado han provocado el empobrecimiento de la estructura ecológica del hábitat fluvial, especialmente en su componente ribereña y en sus comunidades acuáticas, ya que debido a la inestabilidad del substrato del lecho, las densidades de macroinvertebrados se han visto diezgadas. Además, se ha detectado la introducción de un número muy elevado de especies piscícolas.

El Soto Sardilla es el meandro donde resulta más evidente la ocupación del espacio fluvial. Aguas abajo del azud de salida del meandro se encuentra un área con un núcleo de alta densidad de visón europeo (*Mustela lutreola*). Esta densidad se alcanza gracias a la existencia de los antiguos meandros, bosques de ribera todavía en relativo buen estado de conservación y regadíos tradicionales donde se conservan las acequias de tierra con una densa cobertura vegetal dominada por zarzas y carrizos.



Figura 64: Visón europeo (*Mustela lutreola*) en el Soto Sardilla (izquierda). Huellas de visón (derecha) (Confederación Hidrográfica del Ebro)

La reconexión de los meandros fue una de las primeras propuestas de actuación de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos en el año 2007. Desde entonces hasta la actualidad, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, junto con la Confederación Hidrográfica del Ebro y el Gobierno de Navarra han venido trabajando en la progresiva reconexión de los distintos meandros que quedaron desconectados. En los últimos años, parte de ellos han podido ser recuperados a través del Proyecto LIFE+ "Territorio Visón", en el que la Comisión Europea, el entonces Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente y el Gobierno de Navarra trabajaron de forma coordinada. Este Proyecto LIFE+, finalizado el 31 de marzo de 2016, consiguió la recuperación de la conexión hidrológica de varios meandros en el río Arga, mejorando además el hábitat disponible para el visón europeo (*Mustela lutreola*).

Objetivos

Con un presupuesto superior a 12 millones de euros, este proyecto se encuentra incluido en el Plan de Gestión del Riesgo de Inundación de la demarcación hidrográfica del Ebro y tiene como principal objetivo recuperar espacio fluvial para el río Arga, con anchura suficiente para que pueda desarrollar sus funciones e instaurar un nuevo corredor ribereño con más continuidad, complejidad y diversidad. Esta restauración debe ser compatible con la actividad humana, la disminución del riesgo de inundación del núcleo urbano de Funes y con el mantenimiento, conservación y mejora de los hábitats existentes para el visón europeo.

Acciones y resultados

Las actuaciones proyectadas se ubican en la confluencia de los ríos Arga y Aragón y en el antiguo meandro de Soto Sardilla, abarcando una longitud aproximada de 2 km, que discurre en el término municipal de Funes, inmediatamente aguas abajo del núcleo urbano, ubicado en el sureste de la provincia de Navarra.

Hasta ahora, los trabajos incluidos en el proyecto han sido los siguientes:

- Recuperación de la llanura de inundación, mediante el retranqueo o eliminación de diques o motas longitudinales y de escolleras, devolviendo la conectividad transversal al tramo. Especialmente problemática era la confluencia de los ríos Arga y Aragón, al final del tramo de actuación aguas abajo, que debido a su rigidización con escollera era incapaz de desaguar los caudales de ambos ríos en situaciones de avenida.
- Actuaciones complementarias relativas a la protección y estabilización de taludes.
- Apertura de cauce en la salida del meandro de Soto Sardilla, reconectándolo con el cauce activo del río Arga a través de cauces trenzados y antiguos brazos.
- Mejora de la calidad de las aguas en el meandro, mediante la retirada de los fangos procedentes de antiguos vertidos de una industria conservera, dejando al descubierto el lecho de gravas y arenas original del cauce.
- Mejora de hábitats para el visón europeo. De forma complementaria a la mejora de los hábitats que supondrá la recuperación de la llanura de inundación y sus procesos, se crearán una serie de zonas húmedas a partir de excavaciones irregulares en el terreno, con zonas de distinta profundidad, taludes muy tendidos para permitir la revegetación de las orillas, así como con montículos emergentes que funcionen como islas de forma que sirvan de refugio para especies de interés.
- Naturalización de las zonas de intervención y regeneración ambiental mediante reforestaciones que favorezcan el avance en la sucesión vegetal, la mejora de la biodiversidad y la recreación de hábitats específicos para el visón europeo y otras especies amenazadas como diferentes especies de náyades. En el tramo se han inventariado las especies *Potomida littoralis*, *Unio mancus* y *Anodonta anatina*.
- Puesta en valor de la actuación con la creación de un itinerario, "itinerario visón", para acercar a los senderistas al hábitat de esta especie, sin que los trayectos proyectados afecten a la fauna ni a sus áreas de refugio, y dotado de cartelería de interpretación junto con actuaciones puntuales de restauración de zonas recreativas en el parque de "Las Mesicas".

El proyecto fue propuesto por la Dirección General del Agua para su inclusión en el Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático (PIMA Adapta) en materia de gestión del agua, reducción del riesgo asociado a los fenómenos extremos y fortalecimiento de la resiliencia de los ecosistemas acuáticos (PIMA Adapta AGUA) coordinado por la Oficina Española de Cambio Climático). Los planes PIMA constituyen una herramienta para apoyar la consecución de los objetivos del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030) utilizando recursos económicos procedentes de las subastas de derechos de emisión y canalizándolos hacia proyectos de adaptación.

La ejecución del proyecto se inició en noviembre de 2016 y, hasta el momento, ha comprendido varias fases. La fase 1 del proyecto se centró en la confluencia entre el río Arga y Aragón, focalizándose en la mejora de las condiciones de desagüe de ambos ríos y en la disminución del riesgo de inundación de la localidad de Funes. Tuvo un presupuesto aproximado de 2,17 millones de euros y se ejecutó en 12 meses.



Figura 65: Fotografía aérea de la confluencia entre el río Arga y el río Aragón de marzo de 2017 (previo al inicio de los trabajos de la fase 1) (Confederación Hidrográfica del Ebro)



Figura 66: Fotografía aérea de la confluencia entre el río Arga y el río Aragón de octubre de 2018 (tras finalizar los trabajos de la fase 1) (Confederación Hidrográfica del Ebro)

La fase 2 del proyecto permitió la recuperación ambiental de la parte del meandro que aún mantenía valor ecológico. Contó con un presupuesto aproximado de 6,2 millones de euros y 36 meses de plazo.

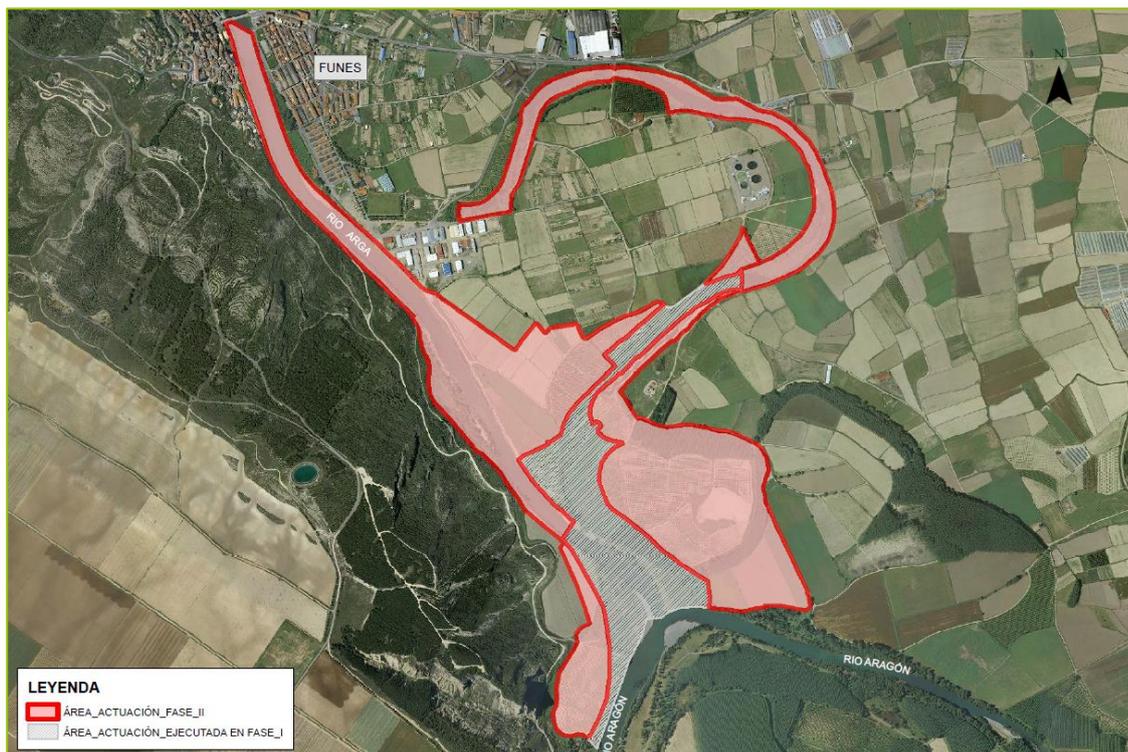


Figura 67: Ámbito del proyecto en el meandro de Soto Sardilla y confluencia de los ríos Arga y Aragón (T. M. Funes). En gris, área de actuación ejecutada en fase 1 y, en rojo, la correspondiente a la fase 2 (Confederación Hidrográfica del Ebro)

Las actuaciones realizadas ya han demostrado su eficacia en varios episodios de avenida acontecidos en los ríos Arga y Aragón; especialmente, los ocurridos en abril de 2018 y diciembre de 2019, en los que coincidieron las avenidas de ambos cauces en la zona de obras.



Figura 68: Inundaciones en la confluencia entre el río Arga y el río Aragón tras la crecida de abril de 2018. A diferencia de lo que ocurría durante estos episodios antes de la ejecución del proyecto, la afección en el núcleo urbano se ha reducido notablemente (Confederación Hidrográfica del Ebro)

No obstante, para conseguir el objetivo completo pretendido por el proyecto original, se está tramitando la Fase 3. Esta última fase cuenta con un presupuesto aproximado de 4 millones de euros y un plazo de 24 meses y completará la intervención. Comprenderá los siguientes trabajos:

- Conexión de entrada al meandro de Soto Sardilla desde el cauce actual del río Arga, mediante apertura de la defensa existente y construcción de un canal naturalizado de 280 m.
- Recuperación de la continuidad longitudinal del meandro mediante la mejora en la permeabilización longitudinal de los obstáculos existentes.
- Adaptación de la obra de salida del meandro de Soto Sardilla al paso de los nuevos caudales circulantes tras la reconexión.

Líneas futuras (EBRO RESILIENCE)

El tipo de actuaciones ejecutadas en el río Arga para restaurar la hidromorfología del tramo, disminuir el riesgo de inundación de las poblaciones ribereñas y ampliar y recuperar ecosistemas como hábitats de especies amenazadas como el visón europeo han servido como referencia para el desarrollo de la Estrategia *Ebro Resilience* (www.ebroresilience.com).

En el ámbito del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación de la demarcación hidrográfica del Ebro, el tramo medio del río Ebro es una de las áreas donde las inundaciones presentan una

mayor magnitud, frecuencia y superficie de afección, registrándose daños importantes de forma periódica. Debido a la transversalidad de los factores que intervienen en el riesgo de inundación, al actual reparto de competencias entre las distintas Administraciones y a que se ven afectadas tres Comunidades Autónomas, la aplicación del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación en este tramo exige un especial grado de coordinación y compromiso entre ellas.

La Estrategia *Ebro Resilience* (www.ebroresilience.com) es la forma en que se ha materializado ese marco de colaboración necesario entre las distintas Administraciones, la población y los sectores económicos, para trabajar de forma solidaria y coordinada en la gestión del riesgo de inundación del tramo medio del río Ebro y tramos bajos de sus afluentes (en los 325 km que separan las localidades de Logroño y La Zaida), conformando un sub-programa del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación de la demarcación hidrográfica del Ebro.

El detonante de esta iniciativa fueron las crecidas ocurridas en 2015. Sus consecuencias pusieron de manifiesto la necesidad de poner en marcha un plan de medidas que permitiera aumentar la resiliencia del tramo al fenómeno de las inundaciones.

La misión de esta Estrategia es promover actuaciones que reduzcan el impacto de las inundaciones en los tramos de mayor riesgo del eje medio del río Ebro, mejorando la capacidad de respuesta de la población ante estos episodios e implementando medidas que a su vez contribuyan a mejorar el estado de las masas de agua y los hábitats fluviales.

La mejora del estado de las masas de agua existentes en ese tramo medio se conseguirá incrementando la continuidad longitudinal y transversal del río Ebro y de los tramos bajos de sus afluentes. Y, también, mejorando la calidad de sus aguas.

Para la mejora del estado de los hábitats fluviales está previsto recuperar para el espacio fluvial una serie de terrenos que en la actualidad están degradados u ocupados por otros usos. En esos terrenos se realizarán acciones de restauración fluvial de los hábitats de interés. En los tramos coincidentes con espacios protegidos pertenecientes a la Red Natura 2000 o con otras figuras de protección, se desarrollarán programas de medidas específicos acordes con la singularidad de estos espacios.

Todas estas actuaciones se van a incluir en el 2º ciclo del Plan de gestión del riesgo de inundación de la demarcación hidrográfica del Ebro para el período 2022-2027.

Ebro Resilience está permitiendo la transición desde el modelo tradicional de gestión del riesgo de inundación hacia uno nuevo, con soluciones basadas en la naturaleza (SbN). El modelo tradicional (*motas, "limpieza" y dragado*) se basa casi exclusivamente, en la construcción de obras estructurales de defensa y en el mantenimiento de las secciones de desagüe libres de vegetación y sedimentos de forma permanente. Este modelo tradicional se ha demostrado limitado por diversos motivos. Entre otros:

- No se dispone de suficientes recursos materiales, humanos ni económicos para aplicarlo de forma generalizada. La cuenca del Ebro tiene más de 100.000 km de cauces; 12.000 km de ellos pertenecen a ríos principales.

- Estas actuaciones deterioran ambientalmente los espacios naturales donde se ejecutan (el 65 % del tramo medio del Ebro está catalogado como Red Natural 2000 o cuenta con alguna otra figura de protección ambiental).
- El efecto deseado no se mantiene en el tiempo. El tramo tiende a regresar a su estado natural de manera espontánea, provocando la ineffectividad parcial a corto plazo de las medidas ejecutadas y la exigencia de un mantenimiento periódico continuo.
- Se producen consecuencias indeseadas de efecto retardado como puede ser la incisión del cauce, socavación y descalce de infraestructuras, la acumulación y concentración puntual de sedimentos. Estos problemas se aprecian décadas después de haberse ejecutado las obras, algunas de ellos son de difícil solución y, en todos los casos, implican elevados costes de mantenimiento.
- Este tipo de actuaciones despiertan cada vez más, una mayor oposición social.
- Entra en conflicto con el marco legislativo vigente. Así, algunas de estas actuaciones tradicionales -antaño tan extendidas- ahora son contrarias al RD 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión del riesgo de inundación, a la propia Ley de Aguas y a su Reglamento y, también, a la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos.

El modelo de SbN se inspira y aprovecha las dinámicas hidromorfológicas naturales de los tramos para mantener la capacidad de desagüe. Estas soluciones reducen la necesidad de mantenimientos periódicos y alargan la vida útil de las defensas frente a inundaciones, al someterlas a menores presiones hidráulicas. El modelo SbN requiere por un lado, recuperar el espacio fluvial aledaño al cauce y, por otro, adaptar los usos y aprovechamientos de ese espacio a las crecidas que ocurren en él periódicamente.

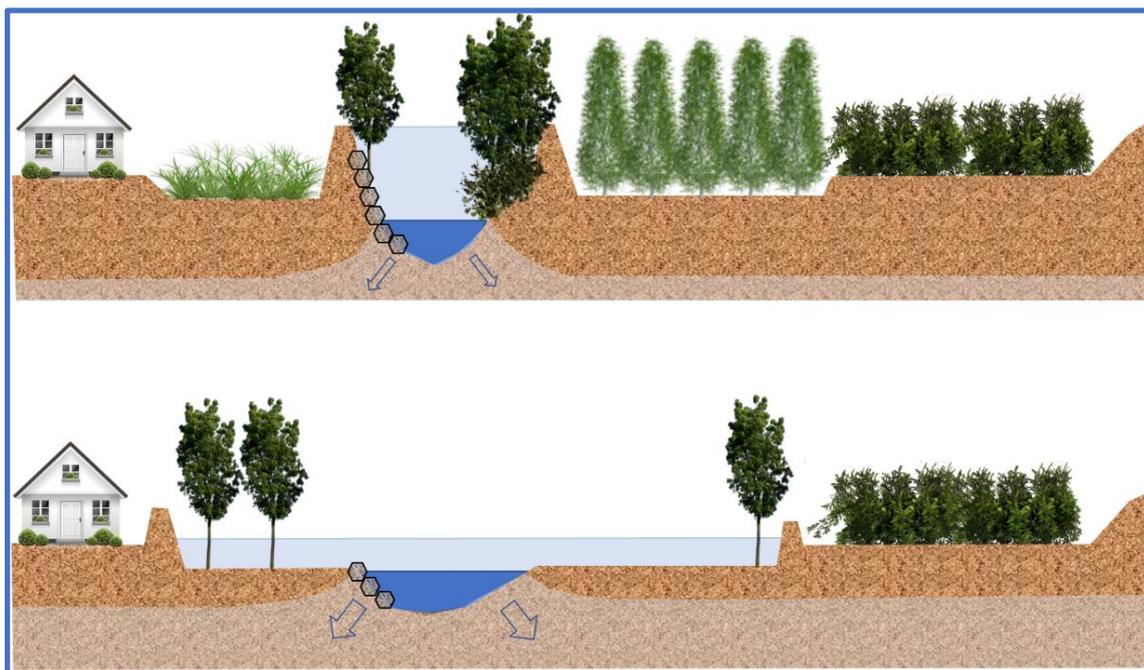


Figura 69: Representación esquemática del modelo tradicional (arriba) y del modelo SbN (abajo) en zonas urbanas (Ministerio de Medio Ambiente, Guía Metodológica para la Elaboración de Proyectos de Restauración de Ríos, 2007)

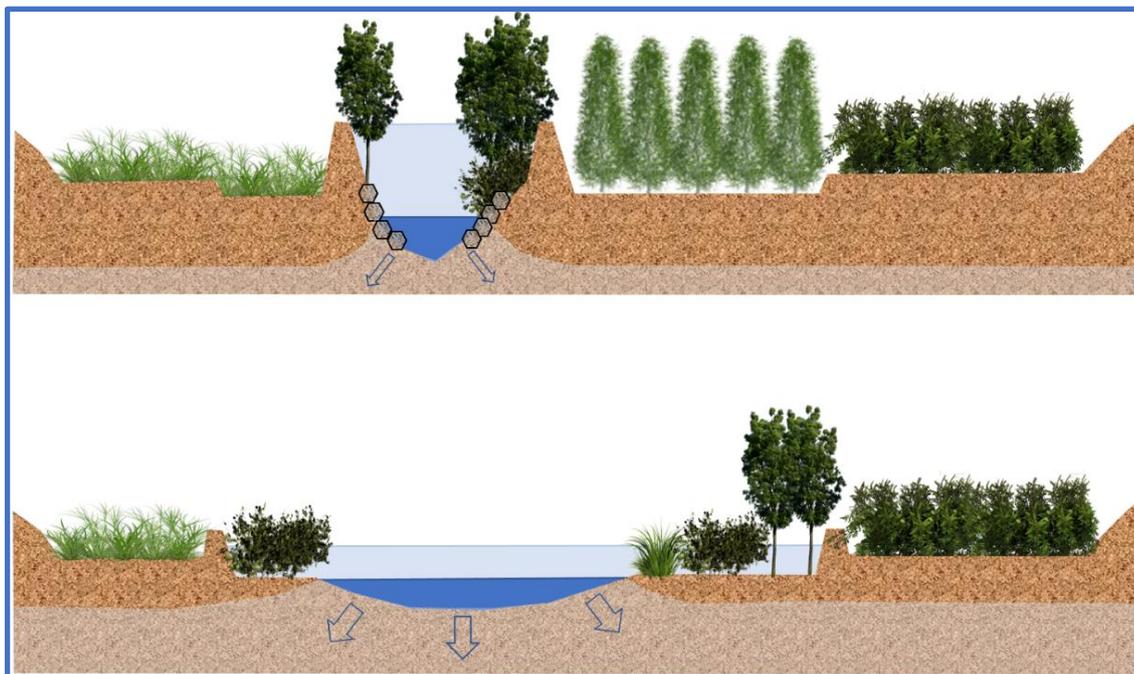


Figura 70: Representación esquemática del modelo tradicional (arriba) y del modelo SbN (abajo) en zonas urbanas (Ministerio de Medio Ambiente, Guía Metodológica para la Elaboración de Proyectos de Restauración de Ríos, 2007)

Conclusiones

Actuaciones como las que ya se han ejecutado en el río Arga y se van a ejecutar en el tramo medio del Ebro son la evidencia de que la restauración hidromorfológica de los ríos, la reconexión de meandros, la recuperación de las llanuras aluviales y la restauración de humedales se encuentran entre las medidas que más contribuyen a la mejora del estado de los cauces fluviales, restableciendo los procesos naturales y facilitando su auto-recuperación. Esto se traduce en la mejora de su respuesta ante fenómenos hidrológicos extremos, más intensos y frecuentes como consecuencia del cambio climático, demostrando continuamente su eficacia en la disminución del riesgo de inundación.

Es necesario destacar la necesidad de complementar estos proyectos con programas de divulgación adecuados que permitan poner en valor las mejoras alcanzadas. Igualmente, resultan especialmente críticas la implicación y participación de la población y la sociedad en todas las fases del proyecto.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico está impulsando la restauración fluvial como herramienta para combatir el cambio climático y reducir los riesgos de inundación al tiempo que mejora el estado de las masas de agua, contribuyendo a

alcanzar los compromisos derivados de las Directivas Europeas (Marco del Agua, Inundaciones y Hábitats), así como otros compromisos como la Estrategia de la UE sobre Biodiversidad para 2030. Entre los principales elementos de la Estrategia de la UE sobre Biodiversidad para 2030 se incluye la restauración de la continuidad longitudinal de 25.000 km de ríos europeos. España contribuirá a ese compromiso con 3.000 km de nuestros ríos y hasta 20.000 ha de humedales.



Figura 71: Aspecto del meandro Soto Sardilla del río Arga durante un episodio de crecida ocurrido en abril de 2018 (Confederación Hidrográfica del Ebro)

4.3.4. Restauración hidromorfológica en ramblas y ríos semipermanentes

Francisca Segura Beltrán¹, Carles Sanchis Ibor², Alfredo Ollero Ojeda³

1. Universidad de Valencia

2. Universitat Politècnica de València

3. Universidad de Zaragoza

Los ríos intermitentes y efímeros: caracterización y clasificación

En la naturaleza existe una variada gama de ríos sin un flujo permanente de agua y sedimentos. Denominados de diversas formas en la literatura científica –intermitentes, temporales, semipermanentes, estacionales, no permanentes, etc. Los define su fluir discontinuo, que a su vez complica su clasificación. Recientemente, se ha empezado a utilizar el acrónimo IRES (*intermittent rivers and ephemeral streams*), para identificar a los ríos que fluyen de manera temporal y que dejan de fluir y/o se secan en algún punto o la totalidad de su curso [61]. Aunque representan el 50% de la red fluvial mundial –proporción superada con creces en muchas cuencas mediterráneas [282], [40]– han recibido una atención considerablemente menor que los ríos perennes. En los países mediterráneos, la sociedad ha tratado estos sistemas fluviales con un claro desprecio, lo que ha favorecido su deterioro. La actividad científica sobre estos ríos ha seguido un recorrido similar. Durante buena parte del siglo XX la atención fue comparativamente escasa, pero en las últimas dos décadas se han multiplicado los trabajos que analizan sus cambios ambientales históricos y sus perspectivas de recuperación, aspectos de los que nos ocupamos seguidamente.

Los cambios ambientales ocurridos en las ramblas a lo largo del siglo XX

Durante los dos últimos siglos, los ríos mediterráneos han sufrido fluctuaciones importantes en el flujo de agua y el suministro de sedimentos, lo que ha provocado ajustes continuos del cauce a través de la erosión y la deposición. Las causas de estos cambios han sido de origen natural o antrópico y han acontecido sobre los mismos cauces o sobre las cuencas que los alimentan.

1. Los impactos sobre las cuencas

La situación de los IRES en la segunda mitad del siglo XX es herencia de los cambios acontecidos desde finales del siglo XIX, durante la última fase de la Pequeña Edad del Hielo. Se trata de un período caracterizado por una elevada variabilidad hidrológica, con alternancias frecuentes de períodos secos y fuertes crecidas. La última pulsación fría y húmeda se ha datado entre 1895 y 1910 (oscilación Modernista) [16], [160]. Este periodo se caracterizó por crecidas de elevada magnitud y frecuencia que hicieron aumentar los

caudales [23]. En este contexto climático, se produjeron cambios importantes en los usos del suelo de las cuencas fluviales. Entre finales del siglo XIX e inicios del siglo XX se alcanzó el máximo de población rural del interior peninsular y el arco montañoso mediterráneo. Esta intensa presencia humana ejerció una fuerte presión sobre los recursos forestales, con una gran expansión de la agricultura (los bancales ascendieron por las laderas) y de la ganadería extensiva. Todo ello dejó unas laderas desnudas que, en el citado contexto de marcada torrencialidad, se tradujo en un incremento de las inundaciones y de la carga sedimentaria, bien documentado a principios del siglo XX [165], [23], [113]. El aumento de las crecidas configuró unos ríos claramente agradacionales, con canales trenzados (*braided*) y grandes acumulaciones de gravas desprovistas de vegetación.

Estos cauces sobrecargados de sedimentos, bien documentados en la primera mitad del siglo XX, quedaron como formas relictas, ajustadas a las antiguas condiciones climáticas y erosivas. Eran el resultado de caudales y cargas sedimentarias elevadas, pero sus formas no respondían a las condiciones que prevalecerían a partir de la segunda mitad del siglo XX [274]. A partir de los años 50 del siglo XX, las condiciones climáticas y ambientales cambiaron, invirtiéndose el sentido de las alteraciones. Las reforestaciones propiciadas por la administración pública provocaron el incremento de la masa forestal. El éxodo rural y el consiguiente abandono de la agricultura y de la ganadería extensiva favorecieron la reforestación natural y el aumento de la vegetación en las laderas [113], [275]. De este modo se inició un nuevo proceso de ajuste fluvial, más proclive a la erosión y remoción de los sedimentos acumulados décadas atrás, que ha sido notablemente acelerado por una intensa actividad antrópica en los cauces.

2. Los impactos en los cauces

Las afecciones más habituales en las ramblas mediterráneas han sido **las obras de control de la erosión y la canalización de los ríos**, y en los cursos semipermanentes, **la construcción de presas**. Los embalses producen alteraciones hidrológicas severas en el régimen y el volumen del caudal. Dependiendo de la gestión que se realice, el régimen puede llegar a invertirse, de manera que, otoño y primavera pasan a tener aguas bajas, mientras que los meses estivales poseen los mayores caudales [273], [274]. El volumen del caudal suele disminuir por los aprovechamientos (regadío, abastecimiento), merma que suele sumarse a la disminución de caudal por causas climático-hidrológicas producida a lo largo del siglo XX. También disminuyen la frecuencia y magnitud de crecidas e inundaciones, lo que impide la existencia de caudales geomorfológicos, es decir, con capacidad para modelar el cauce. La retención de sedimentos en el vaso del embalse produce además un déficit sedimentario que, sumado al hidrológico, reduce la actividad geomorfológica aguas abajo, y limita la exportación de materiales a otros ecosistemas costeros o lacustres.

Por otra parte, el **aprovechamiento de las aguas** ha dejado sin caudal los ríos en las cuencas bajas en los ríos semipermanentes, convirtiéndolos en ramblas. La situación contraria también se suele producir: los vertidos de las depuradoras urbanas, o los sobrantes de

regadío pueden transformar una rambla con caudal efímero en un tramo perenne, con los efectos que ello comporta sobre la biota, que pasa de terrestre a acuática [61].

Las **canteras de áridos** también han proliferado, especialmente en los ríos efímeros, dada la facilidad de la extracción en ausencia de caudal y la permisividad administrativa que existió hasta hace bien poco. Esta práctica incrementa enormemente el déficit sedimentario, particularmente en cauces que ya padecen otras afecciones, y tiene implicaciones directas e inmediatas sobre la morfología y el ecosistema fluvial.

Además, en numerosos ríos los organismos de cuenca han impulsado **canalizaciones y restricciones** de canales *braided* que, en función del tipo de obra, reducen la carga sedimentaria, alteran la pendiente, aceleran el flujo y producen erosión en el cauce y en las orillas aguas abajo. Aguas arriba pueden generar erosión remontante con la formación de *knickpoints*.

Finalmente, las **ocupaciones de los cauces** son especialmente importantes en las cuencas bajas y responden a diferentes usos: agricultura, infraestructuras diversas (puentes, vados, caminos, soterramientos del ferrocarril, canales de riego), ocio (campos de fútbol, polideportivos, parkings), industriales (depósitos, almacenes), viviendas e infraviviendas, etc. En general, producen una reducción de la sección transversal y la aceleración del flujo, con el consiguiente peligro de pérdidas de bienes y personas. Pero la máxima expresión del problema consiste en la incorporación de los cauces a los callejeros urbanos, transformando los lechos fluviales en calles, con consecuencias frecuentemente dramáticas durante las crecidas.

3. Respuesta de los ríos semipermanentes y las ramblas a los impactos

El acusado **déficit hidro-sedimentario** observado en las cuencas mediterráneas ha generado un proceso de ajuste fluvial que se manifiesta principalmente en el estrechamiento y la incisión de los cauces. El **estrechamiento** se observa a partir de los años 50 del siglo XX, con reducciones de más del 50% [275] y está asociado a procesos de colonización vegetal. En los periodos de ausencia de caudal geomorfológico, la vegetación atrapa y estabiliza sedimentos, materia orgánica y propágulos, modificando la sedimentación y la morfología de los lechos. El efecto más importante es el desarrollo de las barras, que se estabilizan convirtiéndose en islas. En los ríos efímeros, estos procesos presentan determinadas peculiaridades, derivadas fundamentalmente de la existencia de largos periodos secos que favorecen procesos de colonización espontánea y la estabilización de la vegetación entre las crecidas [259]. Esto comporta la simplificación del patrón del río, que suele pasar de las formas trenzadas complejas a las más simples (de *braided* a *wandering*) y conlleva la estabilización y fijación del cauce activo [260].

La **incisión** del cauce, producida por el exceso de energía que tiene el río al reducir el gasto en transporte de sedimentos, retroalimenta estos procesos. Los ríos tratan de obtener su carga sedimentaria excavando en el lecho y regularizando su perfil. Los valores de incisión

registrados en las últimas décadas son muy altos, reportándose valores medio de 3'5 m en la rambla de Cervera [275], [277] o 2'4 m en el Palància [259]. A mayor incisión, las aguas de crecida circulan a cota más baja y reducen las inundaciones, menguando también su acción erosiva sobre las zonas más alejadas del tálveg, contribuyendo por tanto al desarrollo de la vegetación y al mencionado estrechamiento del cauce. Además, desconecta el cauce del llano de inundación, baja los niveles freáticos del fondo del valle y con frecuencia favorece la destrucción de puentes, azudes y vados [17], [275], [259]. Estas infraestructuras pueden frenar temporalmente la erosión remontante y crear puntos de ruptura de pendiente (*knickpoints*) artificiales, pero en las crecidas de gran magnitud acaban siendo destruidas. La extracción de áridos es la actividad humana con mayor incidencia sobre estos procesos erosivos. Tiene un impacto especialmente acusado sobre la incisión, la inestabilidad de taludes y el acorazamiento del lecho [17], [259], [272], [277]).

La restauración hidro-geomorfológica en los ríos intermitentes y efímeros

1. Las dificultades del diagnóstico

Como se ha señalado anteriormente, las actividades antrópicas han degradado en gran manera estos ríos. A ello ha contribuido la sociedad ribereña, con su aprovechamiento para la agricultura o la extracción de áridos, pero también con la creación de un imaginario que valora sobremanera los ríos con agua. Además, la administración hidráulica ha tratado los ríos desde una postura economicista, despreciando su conservación (no hay caudal para explotar) y ha favorecido su uso como recurso (extracción de áridos). El resultado son unos ríos degradados y poco valorados por la sociedad y las administraciones públicas.

A partir de la promulgación de la Directiva Marco del Agua (2000) se produce un cambio de paradigma en el tratamiento de los ríos y se despierta un cierto interés en la restauración fluvial, que desemboca en el desarrollo de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos [312]. La creación del Centro Ibérico de Restauración Fluvial en 2009 ha supuesto un hito importante y los tres congresos de RestauraRíos realizados (2011, 2015 y 2019) han sido un escaparate importante para el intercambio de experiencias entre los diferentes colectivos interesados en la restauración fluvial [225]. En este contexto, la restauración de las ramblas plantea algunos problemas teóricos similares a los de los ríos perennes, aunque a ellos se añaden algunas particularidades específicas, entre ellas cabe destacar las siguientes:

- La escasez de redes de medida de transporte de agua y sedimentos. La instalación del SAIH fue una oportunidad perdida, dado que apenas existen marcos de control de caudal en ríos efímeros. Aun así, existen algunas publicaciones que tratan de analizar los escasos datos hidrológicos existentes [44], [43]. La monitorización de la carga de fondo es un problema que comparten con los ríos perennes, pero que es especialmente importante en ríos efímeros, donde sólo el sedimento es perenne. La administración ha desistido de

su control y los pocos datos que se tienen derivan de proyectos de investigación con diseños experimentales [40], [41].

- La temporalidad del caudal y su catalogación. Desde el punto de vista hidrológico, los ríos efímeros se oponen a los perennes, pero en la naturaleza existen diversos ríos transicionales entre ambos extremos. La intermitencia espacio-temporal del flujo interrumpe la conectividad hidrológica en múltiples escalas, lo que dificulta su categorización [61] y su posible restauración. Es frecuente que en un río exista caudal en cabecera que se pierde aguas abajo, tanto por causas naturales (pérdidas de transmisión) como antrópicas (embalses, regadío), por lo que la gestión y la restauración en cabecera debería ser similar a un río perenne, mientras que en la cuenca baja debe tratarse como una rambla. Incluso en un mismo río, la zona de transición del flujo de permanente a efímero o al revés, puede desplazarse en un sentido o en otro dependiendo de la magnitud de los eventos y de las características de la tormenta. Los intentos para clasificar estos ríos desde la ecología u otros ámbitos no han resuelto los problemas de gestión y restauración. Intentar encorsetar los ríos con caudal intermitente en una clasificación es muy difícil, dado que en la naturaleza los estados transitorios son frecuentes e impredecibles. El problema, por tanto, no es su clasificación sino la desatención que se ha producido por parte de la administración.
- El diagnóstico. La Directiva Marco del Agua (2000) está diseñada para ríos perennes, por lo que los estándares para definir el estado ecológico se basan en la calidad del agua y de la biota acuática. Así pues, no existen mecanismos adecuados para analizar bajo esta óptica los ríos efímeros e intermitentes y es necesario desarrollar indicadores específicos adaptados a la intermitencia del caudal. En los últimos años se ha trabajado en una adaptación del índice hidro-geomorfológico IHG a cursos efímeros (IHG-E), habiéndose aplicado en la cuenca del Júcar [14]. Como medida para la mejora continuada de este diagnóstico proporcionado por el IHG-E se pretende combinar la información de otros indicadores como los de resiliencia geomórfica [259], [272], [40], así como los indicadores hidromorfológicos del procedimiento de muestreo y seguimiento de los sistemas IDRAIM y SUM y del índice MQI [245], [246]. De esta manera, el IHG-E estimado por tramos y su interacción con el resto de indicadores puede ser esencial a la hora de valorar las capacidades de recuperación de los cauces y sus tramos. El diagnóstico resultante constituirá la base para la definición de medidas de acción. El MITECO (2019), por su parte, ha respondido con un protocolo de caracterización y evaluación hidromorfológica que cuenta con una versión específica para cursos de caudal intermitente.

2. Las soluciones de restauración

Las soluciones que se proponen para restaurar las ramblas no difieren en general con las que se proponen para los ríos perennes. Sin embargo, en la mayoría de los proyectos, la restauración geomorfológica no se aborda en toda su complejidad y con frecuencia se evidencia una falta de comprensión de la dinámica hidro-sedimentaria de los cursos fluviales efímeros e intermitentes [271], [276], [225].

Las **afecciones en un punto** son fáciles de localizar y en la mayoría de los casos se pueden revertir con cierta facilidad. Suelen ser infraestructuras transversales al flujo que afectan a la conectividad longitudinal del río y especialmente al transporte de sedimentos, y por ello se aboga por su desmantelamiento. Las presas y los azudes se han construido con la finalidad de retener agua (y, por ende, sedimentos), aunque también son las que mayores consecuencias tienen. Las soluciones de restauración pasan por su demolición si están inutilizadas [137] o por restablecer el sedimento al río [150]. Un caso especial en las cuencas semiáridas son las presas de derivación para el riego de turbias mediante boqueras. Su eliminación puede ser discutible, dado que el sistema reproduce la red divergente de canales típicos del final de ríos efímeros en zonas semiáridas con abanicos activos [132], [173].

Las **modificaciones que afectan a un tramo** son las más frecuentes. Se trata de **canalizaciones** (en sentido amplio), dragados y limpiezas, vertidos sólidos y alteraciones de la vegetación. Los **vertidos sólidos** suelen ser de origen antrópico y conllevan modificaciones del radio hidráulico (que en caso de estrechar el cauce facilitan los desbordamientos) y en muchos casos, contaminación, por lo que deben evitarse. Los **dragados** afectan a la cantidad de sedimento del cauce, y aunque suelen realizarse para incrementar la capacidad del mismo, son contraproducentes porque alteran la carga sedimentaria del río aumentando la erosión del lecho [224]. Las **limpiezas**, cuando se realizan para eliminar vertidos, deben ser respetuosas con la morfología del cauce, respetando barras y canales. Por lo que respecta a las obras de **canalización**, deben revertirse y, en caso de riesgo para la población, deberían buscarse soluciones más acordes con la naturaleza. El retranqueo de diques, los desbordamientos dirigidos, u otras infraestructuras verdes son alternativas más respetuosas con el funcionamiento natural de los ríos efímeros que las canalizaciones con obra dura [224]. Mención aparte merecen los trabajos de **estabilización de las orillas**. Esta práctica debe evitarse, incluso cuando se realiza con bioingeniería, dado que la erosión de las márgenes del lecho es un proceso natural que contribuye a la carga sedimentaria del río. La estabilización lateral contribuye a fijar el lecho, evita la movilidad y afecta la conectividad lateral con el llano de inundación adyacente. No hay nada más alejado de la auténtica restauración, que debería consistir precisamente en recuperar la movilidad lateral del cauce, así como los procesos naturales de erosión y sedimentación [224]. También son especialmente dañinas las **extracciones de áridos**, ya que agudizan el déficit sedimentario provocado por las oscilaciones climáticas y los cambios de usos del suelo. Prohibir las extracciones de áridos debería ser un imperativo necesario para la recuperación de los ríos efímeros e intermitentes.

Por lo que respecta **a la vegetación**, sólo debería retirarse aquella que es de tipo alóctono, dado que, desde el punto de vista geomorfológico, ejerce un papel importante en el modelado del lecho, especialmente en la retención de sedimentos y la estabilización de las barras. La limpieza de la vegetación es un tema controvertido cuando se producen inundaciones, ya que la percepción social es que los restos de vegetación pueden taponar los puentes y aumentar los efectos de las inundaciones. Ciertamente es un efecto que se produce de forma puntual, pero también hay que considerar que la vegetación aumenta la rugosidad, disminuyendo la velocidad del flujo.

Las **modificaciones de la red de drenaje** son habituales en los cauces mediterráneos porque suelen ir ligadas al regadío o al abastecimiento urbano, aunque solo afectan a los cursos intermitentes con embalses [259], [260]. Sin embargo, sí que es frecuente el vertido de sobrantes o de depuradoras a los cauces efímeros. Esta práctica transforma los ríos efímeros en permanentes, lo que conlleva el cambio de la biota terrestre por otra acuática. En estos casos sería mejor promover su reutilización o la recarga de acuíferos.

En el apartado de **afecciones a la cuenca** se incluyen un conjunto de alteraciones difusas, con efectos contrarios pero que pueden convivir a la vez en diferentes partes de la cuenca, lo que dificulta notablemente la individualización de las causas y de sus consecuencias. Es el caso de la expansión/abandono de la **agricultura**, la **deforestación-pastoreo-incendios/reforestación**, **abancalamiento/abandono banales**, etc. Estas prácticas han experimentado cambios importantes a lo largo del siglo XX. En el pasado propiciaron la sobrecarga de los cauces y conectividad hídrica de las ramblas. Actualmente, el abandono de la agricultura –y por ende de los banales– y del pastoreo extensivo ha facilitado la reforestación natural de las cuencas y ha creado un déficit hidro-sedimentario importante. En ocasiones, sin embargo, los incendios juegan en contra, favoreciendo la realimentación hidro-sedimentaria de los cauces. Mención aparte merece la **urbanización** de las cuencas, tanto en la cabecera como en las cuencas bajas, dado que altera del ciclo hidrológico (incrementa el volumen y el pico del caudal, disminuye el tiempo de retraso, aumenta la velocidad del flujo) y disminuye el aporte de sedimentos.

En este apartado se incluyen también los efectos de las **oscilaciones climáticas** de los últimos siglos y en particular, del siglo XX. La situación actual está evolucionando hacia un aumento de la temperatura (que afecta a la evapotranspiración y por tanto al caudal), la disminución del volumen de lluvia (que ha provocado una disminución del caudal a lo largo del siglo XX) y un repunte de las precipitaciones extraordinarias y de la intensidad de las mismas [160]. Los efectos que se están constatando en las ramblas sugieren un incremento en la frecuencia de los episodios intensos, a la vez que disminuye el volumen de lluvia de los episodios. La consecuencia para las ramblas sería una disminución de la frecuencia de episodios de baja magnitud, fiando la conectividad hidrológica de las cuencas a la intensidad de la lluvia, que a su vez reduciría los umbrales de escorrentía [43].

Por su parte, la **ocupación de los espacios inundables** es de especial relevancia en la zona mediterránea, precisamente porque la intermitencia del caudal potencia una falsa seguridad que posibilita incluso la invasión o desaparición de los propios cauces. La **urbanización de las cuencas bajas** propicia las inundaciones de tipo pluvial, al ocupar las zonas inundables o incorporar los cauces al callejero. Ante este tipo de prácticas son necesarias las medidas de ordenación del territorio, alertas tempranas y educación a la población, seguros o incluso *desurbanizar* las zonas de máximo riesgo [229], [220]. Pero también son especialmente importantes las soluciones basadas en la naturaleza (NBS) [102], como los SUD (sistemas de drenaje urbanos sostenibles) o los parques inundables [131].

Hay que destacar que las afecciones a la cuenca son difíciles de revertir, dado que afectan a los usos del suelo o a las oscilaciones del clima. Algunos autores propugnan la gestión de los usos del suelo para incrementar la carga hidro-sedimentaria, mediante el desbroce selectivo del bosque y del matorral, para incrementar el pastoreo o la agricultura más rentable [114]. En zonas semiáridas esta práctica es discutible, dado que la aridez del clima y la escasa cubierta vegetal potenciarían fuertemente la erosión [250] y habría que valorar su conveniencia. Lo más prudente en estas zonas, es la adaptación a las actuales condiciones ambientales de déficit hidro-sedimentario. Por el contrario, las afecciones puntuales sobre el cauce deben revertirse de forma prioritaria, dado que su impacto afecta directamente a las características del cauce.

3. Incógnitas, retos y dificultades de la restauración en cauces efímeros

Aunque la restauración de ríos efímeros plantea problemas similares a la de los perennes, existen algunos elementos diferenciales que deben ser tenidos en cuenta. Entre ellos cabe considerar los siguientes:

- La conectividad hidrológica y sedimentaria (longitudinal, lateral, vertical y temporal) presenta grandes fluctuaciones en los ríos efímeros, ya que su activación depende de los episodios de precipitación que superan un umbral (P_0), que a su vez depende de las características de la precipitación, la cuenca y los cauces [44]. La absorción de los impactos y las respuestas son más lentas que en los ríos perennes, ya que dependen de las crecidas y, por lo tanto, los estados transitorios de adaptación del río a las nuevas condiciones ambientales pueden ser muy duraderos. Empezar operaciones de restauración sin considerar estas circunstancias puede ser contraproducente.
- Cuando se aborda una restauración/rehabilitación se necesita una imagen de referencia, que la ENRR recomienda que sea la fotografía aérea de 1956. En el caso de los ríos efímeros esta referencia es totalmente inadecuada, dada la importante desconexión hidrológica y sedimentaria de estos cauces, que retrasa la absorción de los impactos. En consecuencia, es imprescindible analizar y determinar la trayectoria histórica de los ríos, para comprender la evolución de los factores que determinan el estado actual de los ríos [82].
- Trabajar en la trayectoria histórica de los ríos permite analizar su capacidad de resiliencia. Algunos estudios realizados en ramblas mediterráneas sugieren que los ríos efímeros tienen una gran capacidad de auto-regeneración, dado que poseen una elevada energía. El diseño de indicadores específicos de recuperación espontánea permite constatar el poder regenerador de las crecidas y la importancia que tienen los sucesos extremos en la evolución de las ramblas. Por ello es necesario seguir avanzando en esta línea, con la finalidad de tener instrumentos de diagnóstico y criterios de restauración basados en el funcionamiento real de los ríos efímeros [259], [41], [272].
- De acuerdo con todo lo dicho anteriormente, se considera fundamental priorizar la eliminación de los impactos directos sobre los indirectos, dejando que el río pueda auto-regenerarse. No obstante, dependiendo de la trayectoria de cada río, en los casos en que

no se observen indicios de auto-regeneración, puede ser necesaria la restauración activa. La auténtica restauración fluvial debería ser fundamentalmente auto-restauración hidrogeomorfológica y requeriría caudales naturales, crecidas geomórficas, sedimentos móviles y espacio (territorio fluvial) para el desarrollo de la dinámica natural.

Conclusiones

Los ríos intermitentes y efímeros de la cuenca mediterránea, afectados por el abandono de la administración y la falta de aprecio social, experimentan severos procesos de degradación y ajuste. Dada su relevancia espacial y ambiental, es necesario un cambio de actitud sobre el valor de estos cursos de agua, sus problemas y su funcionalidad en el sistema natural y en el territorio. Además, en cumplimiento de la DMA, es necesario emprender su restauración, aunque entendemos que, dada su especificidad, hay que priorizar la eliminación de impactos directos al cauce y la restauración pasiva. En este sentido, consideramos que la restauración más efectiva es aquella que permite al río inundar, erosionar, depositar y migrar. En definitiva, permitir al río adaptarse y ajustarse por sí mismo al contexto hidro-sedimentario actual. Esta suele ser, además, la opción más barata y segura para la sociedad [229]. No abogamos por el paraíso perdido [82] de los ríos efímeros e intermitentes, pero sí por una naturalización máxima, dada su importancia ambiental y su elevada capacidad de resiliencia.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por los proyectos CGL2017-86839-C3-1-R y CGL2017-84625-C2-1-R (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, fondos FEDER).

4.3.5. Ejemplos de estrategias de intervención en núcleos urbanos costeros para la reducción de riesgos de inundación

Fernando García Martín

Universidad Politécnica de Cartagena

El trabajo realizado ha permitido definir una estrategia de implantación en el ámbito de los núcleos urbanos del arco interior del Mar Menor de soluciones de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible cuyo funcionamiento se basa en la naturaleza (SUDS/SBN): cubiertas vegetadas, pavimentos permeables, depósitos de infiltración, cunetas vegetadas, parterres inundables, áreas de biorretención, zanjas de infiltración alcorques, etc. Estas soluciones pueden permitir controlar la escorrentía, filtrar y tratar las aguas, así como infiltrar y derivar el flujo. Todo ello, en colaboración con los sistemas tradicionales de drenaje.

Exposición y vulnerabilidad a las inundaciones en los núcleos urbanos costeros del arco interior del Mar Menor

Los efectos de las inundaciones en el arco interior del Mar Menor, y específicamente en los espacios libres urbanos de este ámbito, se han analizado a partir de la tradicional formulación del riesgo como la coexistencia de un peligro provocado por las lluvias intensas, una superficie expuesta a este peligro y que resultan vulnerables al mismo.

- El análisis de la PELIGROSIDAD se ha centrado en la contextualización de los episodios de inundación en el Mediterráneo y en el Mar Menor. Para ello se ha realizado una revisión bibliográfica sobre publicaciones científicas que analizan la frecuencia, tendencia, intensidad de los eventos de lluvia y de inundación, además de un resumen de datos climáticos del ámbito.
- La EXPOSICIÓN a estas inundaciones se ha analizado desde varias perspectivas. En primer lugar, a través del análisis de la evolución de la superficie expuesta, utilizando bibliografía específica. En segundo lugar, con el análisis de los criterios con los que se elaboraron los mapas de peligrosidad (o cartografías de zonas inundables), como información de referencia básica. Y, por último, a través del análisis de la exposición que tienen los núcleos urbanos del arco interior del Mar Menor.
- La VULNERABILIDAD de los espacios libres frente a las inundaciones es un aspecto mucho menos analizado previamente. Para ello se ha acudido a información sobre los recientes episodios de inundación acontecidos en el arco interior del Mar Menor. Tanto con fuentes de datos recogidas en los días de las catástrofes, como extraída de reuniones mantenidas con los técnicos municipales de los distintos ayuntamientos con núcleos dentro del ámbito.

Los datos de pluviometrías máximas desde 2004 en la estación San Javier Aeropuerto muestra una gran variabilidad de las lluvias. En 79 de los 186 meses las precipitaciones

máximas diarias fueron menores a 5ml, contrastando con los episodios puntuales de fuertes lluvias, cuatro de más de 100ml en un día con un máximo de 204,7ml el 12 de septiembre de 2019. Se observa que los daños más graves se producen cuando la precipitación supera los 60 mm de lluvia, causando desde corte de carreteras hasta daños en infraestructuras, construcciones e incluso pérdidas humanas y evacuaciones. También se percibe que los efectos más graves se registran en los últimos años, aún con intensidades de lluvias similares.

La amplia cuenca del Mar Menor, la alteración de su territorio por las actividades productivas y la difuminación de los cauces de las ramblas y barrancos naturales han acentuado en los últimos años la exposición. El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) muestra que los suelos urbanos (y urbanizables) están ampliamente expuestos incluso en los episodios de lluvias más frecuentes. La magnitud del riesgo requiere de medidas a distinta escala, desde la territorial a la adaptación de los espacios libres urbanos. El papel de éstos es, en estas ubicaciones, es especialmente peculiar respecto a la gestión de las escorrentías porque, dado que se ubican en el final de la cuenca no son posibles las habituales medidas de interceptación y derivación de las aguas.

La imágenes tomadas por el helicóptero 112 en los episodios de septiembre 2019 permitió evaluar la vulnerabilidad de los espacios libres: zonas verdes y parterres elevados sobre el nivel de las calles que no aprovechan su capacidad de retención e infiltración, rotondas y medianas sobreelevadas que ejercen de barreras al flujo del agua, existencia de grandes superficies libres impermeabilizadas, acumulación de agua en pasos estrechos bajo infraestructuras, presencia de obstáculos en cauces de ramblas, efecto barrera en el diseño de los paseos marítimos.



El estudio del comportamiento de la escorrentía en los espacios libres urbanos ha sido especialmente relevante para definir las oportunidades de implantación de SUDS/SBN y fijar el alcance de éstos. Dada la amplia extensión de la cuenca y la necesidad de disponer de datos de forma ágil, se obtuvo la red de escorrentía urbana a partir de geoprocetos de análisis del terreno en sistemas de información geográfica utilizando el Modelo Digital del Terreno 2ª Cobertura del Instituto Geográfico Nacional (MDT 02), con paso de malla de 2m. Este modelo ha sido desarrollado por el IGN por interpolación a partir de la clase terreno de

los vuelos LIDAR de la segunda cobertura del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), realizados en el año 2016 para el ámbito del trabajo.

La identificación de las “microcuencas” urbanas en las que se dividen los núcleos urbanos y la red de “canales” de escorrentía que discurren por las calles de estos ámbitos son una información muy valiosa para comprender el comportamiento de las aguas superficiales en situaciones de lluvias. La información cartográfica obtenida se ha contrastado en las reuniones mantenidas con los técnicos de los distintos términos municipales, comprobándose una buena representatividad general de la escorrentía.

Para el funcionamiento óptimo de los SUDS/SBN se ha considerado su nivel de exposición a las inundaciones, situaciones en las que la capacidad de retención de estas soluciones suele verse superada. Las superficies de los núcleos urbanos que están en estas zonas inundables se han clasificado como “zonas críticas”, mientras que las que quedan fuera de las zonas inundables como “zonas estratégicas” para los SUDS/SBN. Esta distinción se ha realizado para las zonas expuestas a la inundación de periodo de retorno de 500 años (el escenario más grave pero menos frecuente).

Esta clasificación permite hacer una primera estimación del alcance que podría tener la implantación de SUDS en cada una de las zonas, quedando sujeta a la intensidad y la localización de las lluvias.

Tabla 18: Eficiencia de SUDS/SBN según exposición e intensidad de lluvias

Exposición	Lluvias moderadas y locales	Episodios de inundación
Zona estratégica	Eficiencia alta de los SUDS/SBN para funciones de detención, canalización, filtración e infiltración.	Eficiencia media. Los SUDS/SBN podrán realizar correctamente sus funciones, aunque con cierto riesgo de desbordamiento de su capacidad.
Zona crítica	Eficiencia media. Los SUDS/SBN podrán realizar correctamente sus funciones, aunque con cierto riesgo de desbordamiento de su capacidad.	Eficiencia baja. La capacidad de los SUDS/SBN será rebasada por los caudales actuales que se acumulan en los núcleos urbanos.
Zona estratégica	Eficiencia alta de los SUDS/SBN para funciones de detención, canalización, filtración e infiltración.	Eficiencia media. Los SUDS/SBN podrán realizar correctamente sus funciones, aunque con cierto riesgo de desbordamiento de su capacidad.

Fuente: Consejería de Fomento de la Región de Murcia y Universidad Politécnica de Cartagena (2020)

Definición de una estrategia operativa para la implantación de SUDS/SBN

La definición de la estrategia se realiza a partir de varios pasos, tratando de presentarla de forma operativa en el documento final³⁸. En éste, se identifican 1078 espacios libres (zonas verdes, equipamientos, rotondas y aparcamientos) en los que es posible implantar SUDS/SBN. De los 250 ubicados en San Javier, se ha prevalorado el coste de implantación de los 64 identificados como preferentes, además de en 126 calles identificadas también como prioritarias

Un primer conjunto de fichas recoge, para los distintos ámbitos del arco interior del Mar Menor, los espacios de oportunidad disponibles en función de un criterio multivariable (exposición, tipología, calificación urbanística, etc.)

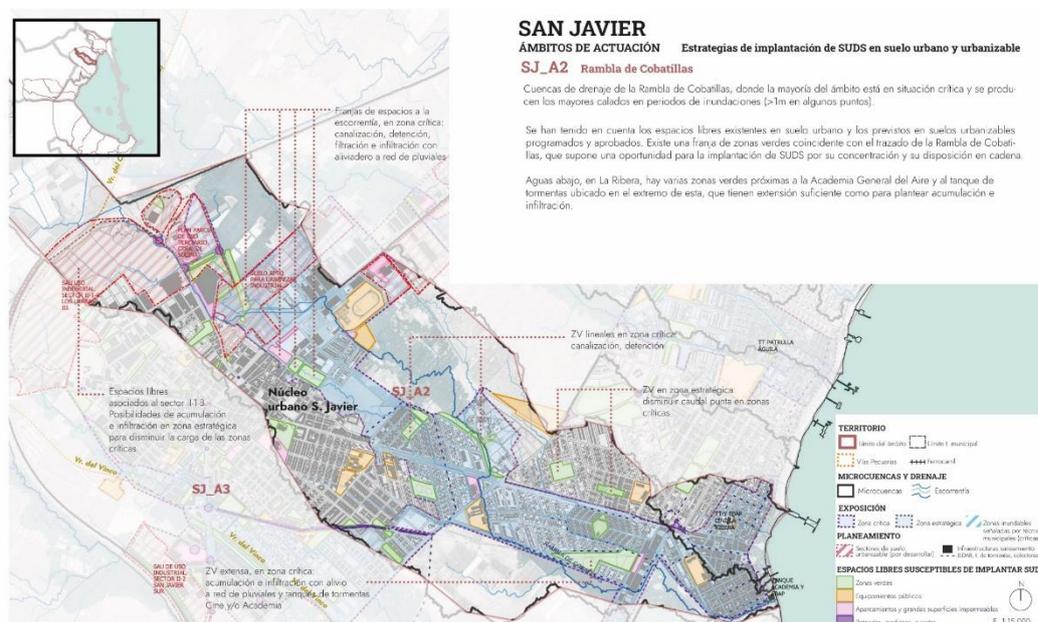


Figura 72: Ejemplo de ficha resumen de ámbito. (Consejería de Fomento de la Región de Murcia y Universidad Politécnica de Cartagena (2020)

Un segundo conjunto de fichas establece los criterios para identificar los tipos de SUDS a implantar en cada tipo de espacio libre, también considerando distintas variables (localización, morfología, pendiente, propiedades del terreno, etc.).

³⁸ "Implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza para el comportamiento de los espacios libres urbanos frente a episodios de lluvia e inundación - arco interior del Mar Menor" disponible en: <https://eacs.carm.es/acciones/analisis-del-comportamiento-de-los-espacios-libres-urbanos-frente-a-episodios-de-inundacion-implementation-de-suds/>

Esta estrategia se ha aplicado, por último, al núcleo urbano de San Javier, avanzando en los criterios para identificar los espacios prioritarios para la implantación de SUDS y la valoración económica del conjunto de actuaciones propuestas en los espacios prioritarios. La priorización de los espacios públicos y las calles se ha realizado considerando su potencial dentro del sistema de escorrentías (considerando ubicación, características del espacio) y su estado actual (considerándose más oportunos los deteriorados o envejecidos).

Tabla 19: Valoración del coste actuaciones prioritarias de implantación de SUDS/SBN

	35 zonas verdes	5 equipamientos	5 aparcamientos	19 rotondas y medianas	126 calles
Valoración total	22.964.562,25€	5.437.782,80€	3.060.396,00€	627.109,00€	6.975.659€
Superficie total	243.693m ²	82.792m ²	46.764m ²	14.173m ²	32,5km
Media del coste	656.130€	1.087.556€	612.079€	33.005€	37.125€
Coste medio m²	2:94€/m ²	2:65€/m ²	2:65€/m ²	44€/m ²	214€/m ²
	35 zonas verdes	5 equipamientos	5 aparcamientos	19 rotondas y medianas	126 calles

Fuente: Consejería de Fomento de la Región de Murcia y Universidad Politécnica de Cartagena (2020)

De acuerdo con las estimaciones, el volumen total de acumulación estimado que podrían albergar los SUDS/SBN contemplados en los distintos tipos de espacios públicos prioritarios es de 243.693 m³ en zonas verdes, 41.396m² en equipamientos, 14.029m³ en aparcamientos y 11.338m³ en rotondas. Con referencia a área de biorretención excavada 1,5m, la estimación de la inversión por m³ acumulado utilizando SUDS/SBN sería de 100 €/m³. Este coste sería bastante inferior que los 371€/m³ que tuvo el tanque de tormentas de la calle Patrulla Águila de San Javier.

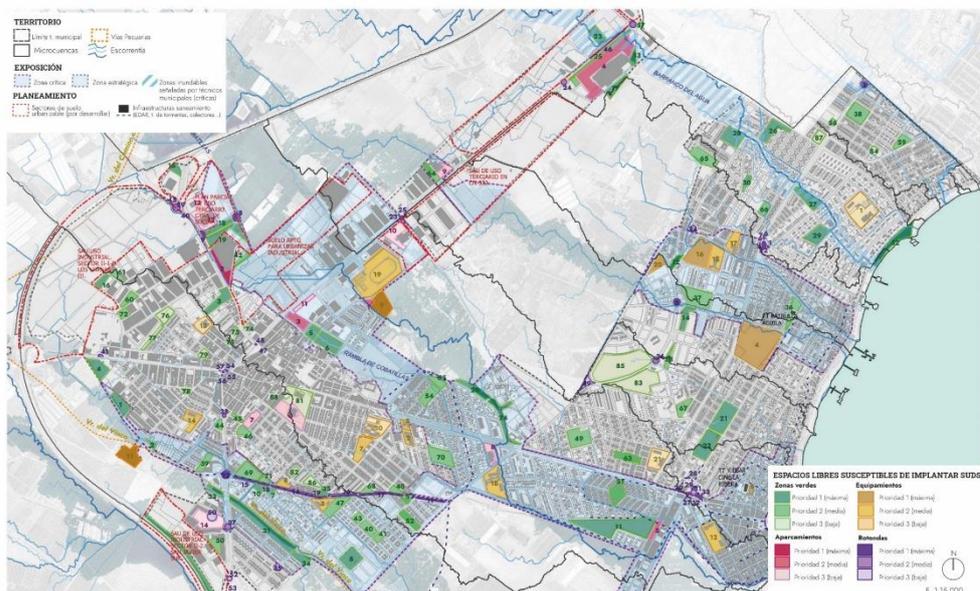


Figura 75: Priorización de espacios en San Javier, Murcia. (Consejería de Fomento de la Región de Murcia y Universidad Politécnica de Cartagena (2020)

Las posibilidades para la implantación de la estrategia son diversas. Pueden realizarse a través de los instrumentos de ordenación del territorio, entre los que los nuevos instrumentos en redacción del Plan de Ordenación Territorial de Prevención Riesgos de Inundación (POTPRI) y el Plan de Ordenación Territorial de la Cuenca del Mar Menor (POTMARME) suponen una oportunidad para coordinar medidas contra inundaciones territoriales y de núcleos urbanos. En los instrumentos de planeamiento urbanístico la implantación es normativa desde modificación en 2020 de la Ley 13/2015 de Ordenación Territorial y Urbanística de la Región de Murcia, pudiendo ser integrada en la revisión de planes generales y en el planeamiento de desarrollo, cuyo diseño puede contemplar el papel que tienen sus espacios libres públicos en la red de escorrentías del núcleo urbano. Por último, la forma más inmediata es a través de los proyectos de urbanización, sin requerir modificación del planeamiento, y de las obras de reurbanización y mantenimiento de infraestructuras municipales.

4.3.6. Procesos erosivos y sedimentarios en ríos y costas. Retos de gestión y soluciones

José Francisco Sánchez¹, Marina Cantalejo-Ibáñez², Agustín Millares-Valenzuela², Miguel Ortega-Sánchez²

¹ Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)

² Universidad de Granada

Introducción

Los sistemas hidrológicos, fluviales y costeros se encuentran relacionados por los flujos de agua, sedimentos y sustancias. Su estudio es de gran interés, ya que representan un vínculo crucial para comprender la interacción entre el impacto de los procesos erosivos y de sedimentación asociados [292]. En el contexto actual de declive natural y artificial del transporte de sedimentos a lo largo de la red fluvial, la evaluación de la entrada de sedimentos y su redistribución hacia las áreas costeras adyacentes es crucial para la gestión sostenible [307]. En los últimos siglos, las actividades humanas como los encauzamientos, la desviación de canales, los dragados, la deforestación o la construcción de presas, han alterado significativamente los procesos naturales y modificado la morfología de los sistemas fluviales y costeros [313], [151]. Además de los condicionantes antrópicos, los efectos asociados al cambio climático alterarán previsiblemente estos sistemas con costes socioeconómicos relevantes. El aumento del nivel del mar es probablemente uno de los efectos más graves que está acelerando el retroceso de los deltas en todo el mundo [286], siendo los ubicados en la costa mediterránea particularmente vulnerables [28].

Durante las últimas décadas, se han estudiado muchos ejemplos de ríos y costas fuertemente modificados por las actividades humanas. Algunos autores [280] revisaron cómo los factores naturales y humanos han controlado el delta del Po (Italia) a lo largo del tiempo, mientras que los cambios inducidos por el hombre en la geomorfología del delta del Nilo (Egipto) se estudiaron mediante imágenes *Landsat Enhanced Thematic Mapper* [90]. Otros autores [254] relacionaron el comportamiento costero a gran escala del delta Rhone con el impacto y la eficiencia de los proyectos de ingeniería dura. La evolución reciente del delta del río Adra (sureste de España) fue reconstruida a través de mapas históricos, fotografías aéreas y datos batimétricos [145].

España es un país con una gran capacidad de agua embalsada, lo cual repercute en las características sedimentológicas fluviales y produce la disminución del volumen de agua que alcanza las desembocaduras y el medio marino. Por un lado, gran parte de los sedimentos quedan retenidos en los diferentes embalses de las cuencas; por otro, la capacidad erosiva de los ríos es menor como consecuencia de la disminución de caudales a causa de la regulación; finalmente, en las últimas décadas se han producido importantes modificaciones de los usos del suelo.

Además de los impactos directos del cambio climático sobre la costa y el medio marino, existen otros efectos que darán lugar a procesos erosivos en ríos y costas. La Estrategia de Adaptación al Cambio Climático en la Costa Española [172] realiza un diagnóstico sobre los efectos esperados en las aguas dulces y la retención de sedimentos. Algunos de los cambios en los usos del suelo como, por ejemplo, el incremento de zonas urbanizadas, han llevado a una mayor escorrentía en dichas zonas por la desaparición de la vegetación que ejercía una función de retención del agua a su paso. Asimismo, también las descargas sedimentarias y de nutrientes al mar han disminuido por las nuevas características de impermeabilidad del pavimento frente al terreno natural que existía con anterioridad. Las descargas fluviales de embalses repentinas por avenidas, tienen consecuencias importantes sobre la red fluvial, los ecosistemas y sobre la capacidad de retención de material en los estuarios [172]. La menor llegada de sedimentos por estas y otras causas repercute en las condiciones de erosión costera y en la vulnerabilidad de zonas de humedales. En otros casos, por el contrario, acciones como la deforestación implicarían un mayor aporte de sedimentos a zonas litorales por arrastre al aumentar la erosión y podría influir negativamente en las comunidades bentónicas por enterramiento y mayor turbidez, así como en las praderas submarinas y fondos rocosos.

Entre las variaciones esperadas, se encuentra una tendencia generalizada a la reducción del recurso hídrico disponible en los sistemas de explotación en las cuencas hidrográficas [51] que puede ir acompañado de un aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos torrenciales, con repercusiones en los medios fluvial y marino en cuanto a daños a infraestructuras y mayor entrada de contaminantes o basuras. En la costa, por ejemplo, estos daños pueden afectar a las infraestructuras de protección, las playas y las zonas de uso turístico, así como a la calidad del agua para el baño en las playas por aumento de la turbidez. El aumento de la demanda de riego puede provocar un menor aporte de sedimentos debido a la mayor retención de agua en embalses, dando lugar a erosión en las zonas costeras de playas e infraestructuras de defensa, lo cual también lleva asociados impactos sobre el sector turístico, que está influido por la buena calidad de las playas.

Por último, también relacionado con el aumento en frecuencia e intensidad de eventos torrenciales, es previsible que los efluentes de las depuradoras en épocas normales lleven poco caudal, pero que con las tormentas las depuradoras puedan sufrir episodios más frecuentes de desbordamientos, provocando la llegada de sedimentos en gran cantidad a ríos y costas. Aunque este problema no está directamente relacionado con los procesos erosivos, sino más bien lo contrario, no debe olvidarse el potencial problema de contaminación asociada, que podría alcanzar zonas sensibles (p.ej. playas y desembocaduras) y afectar tanto a los procesos sedimentarios como a los ecosistemas.

Según el estudio "Efectos potenciales del Cambio Climático en las Demandas de agua y Estrategias de Adaptación" [53], en la cuenca del Júcar la disminución estimada de los recursos hídricos podría provocar incrementos de las dotaciones netas medias de agua de riego para el periodo 2011-2040 del 3% (o 5% con adaptación de la fecha de siembra). Como consecuencia de esta mayor demanda de agua de los cultivos, podría necesitarse un uso

mayor de la reutilización de agua para satisfacer esta demanda. La adopción de estas medidas repercutiría en un menor aporte de sedimentos desde los cauces fluviales, que puede por un lado afectar a la dinámica litoral ocasionando erosión en algunas playas, y por otro generar el aumento de las actividades de desalación en el litoral.

La disminución del aporte sedimentario a la costa puede ser atenuada a través del establecimiento de caudales ecológicos que incluyan la componente sólida y a través de la gestión de los sedimentos en los embalses. El RD 907/2007 define el Caudal ecológico como aquél que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.

Cabe destacar que en los ambientes semiáridos del Mediterráneo el aporte sedimentario también vendría dado a través de las ramblas en épocas de avenida [161]. Otro aspecto en tierra que se verá afectado por el cambio climático y puede tener incidencia en las actividades en el mar es el cambio en los usos del suelo debido a la desaparición de cultivos o cobertura vegetal favorecida por los cambios en la evapotranspiración potencial asociada a los cultivos, que se verá incrementada según los valores proyectados para final de siglo [51].

Los usos del suelo influyen en las condiciones de la escorrentía que llega a la zona costera. La inundación y erosión que provocan daños en las playas e infraestructuras costeras dependerán en parte de dichos caudales de escorrentía, siendo previsible el aumento de las precipitaciones máximas [191] sin que sea suficiente el efecto laminador de los embalses frente a avenidas extraordinarias, a pesar de que la capacidad de embalse en España supera los 56.000 hectómetros cúbicos [21]. Este efecto puede verse agravado por las sequías, que se espera que vayan a ser más frecuentes debido al cambio climático [51], si bien existe incertidumbre sobre los resultados de las proyecciones en buena parte de nuestra geografía.

Procesos erosivos y sedimentarios en el delta del Ebro

El ejemplo más claro que tenemos en España sobre la interacción entre los procesos sedimentarios de ríos y costas es probablemente el río Ebro, si bien también en otras áreas se encuentra una relación muy cercana entre los efectos en unos y otros sistemas [159].

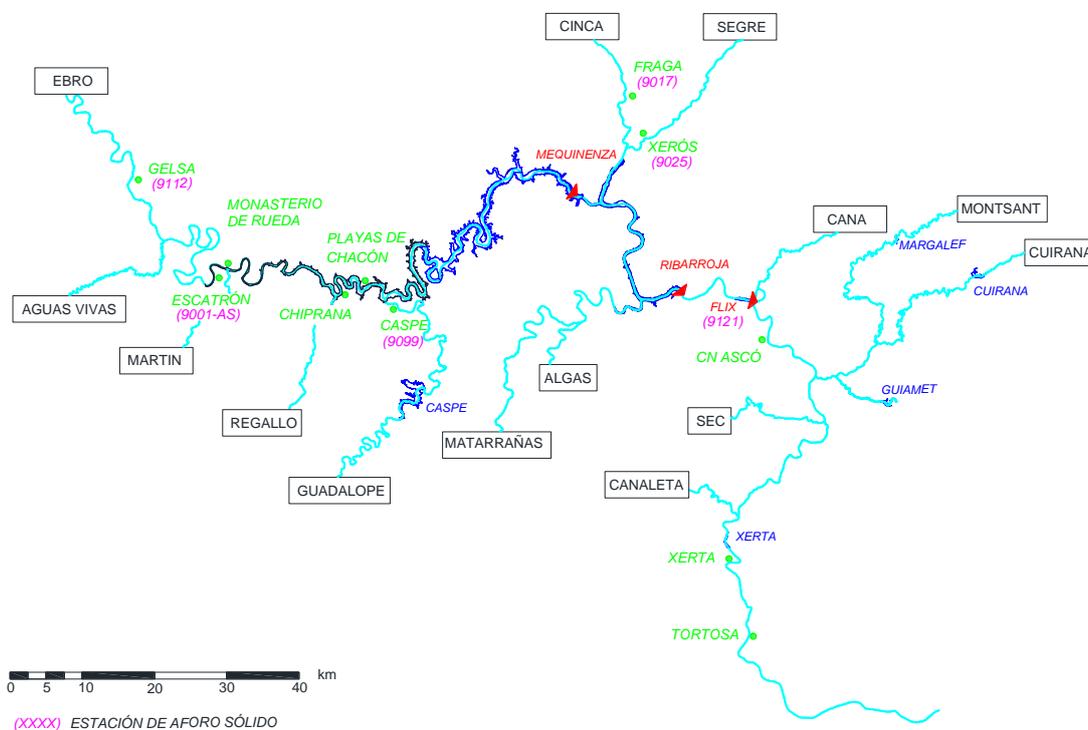


Figura 76: Ubicación de las principales infraestructuras, emplazamientos y cursos fluviales del entorno del bajo Ebro (Fuente: [197])

La Tabla 20 muestra la evolución histórica de la capacidad de embalse en el río Ebro y la disminución de aporte sólido al mar.

Tabla 20: Evolución del caudal sólido en suspensión en la desembocadura del Ebro.

<i>Año</i>	<i>Capacidad de embalse (km³)</i>	<i>Caudal sólido (10⁶ Tm/año)</i>	<i>Fuente</i>
1877	0,00	30,00	Gorría, 1877
1944	0,72	22,00	Desconocida
1961-63	3,45	2,20	Catalán, 1969
1964	3,45	8,70	Varela et al., 1986
1976-82	3,45	0,32	Varela et al., 1986
1983-86	6,24	0,15	Palanques, 1987
1986-87	6,28	0,13	Muñoz, 1990
1988-90	6,28	0,12	Guillén y Palanques, 1992
2000	7,58	0,10	PHN
2005	7.58	0,26	Vericat y Batalla, 2005

Fuente: [199]

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha presentado recientemente a consulta pública el Plan para la Protección del Delta del Ebro, que aborda esta cuestión detenidamente. Sobre el cauce del río Ebro hay construidos numerosos embalses para abastecimiento y aprovechamiento hidroeléctrico, como los de Mequinzenza, Ribarroja o Flix

(ver Figura 76), así como azudes, canales y trasvases para garantizar el suministro de agua en zonas industriales y urbanas (por ejemplo, el Gran Bilbao o Tarragona) y el regadío en zonas de la Comunidad Valenciana y los arrozales del Delta del Ebro [172]. Puede comprobarse (Figura 77) que existe una clara correlación entre el aumento de la citada capacidad de embalse y la reducción del caudal.

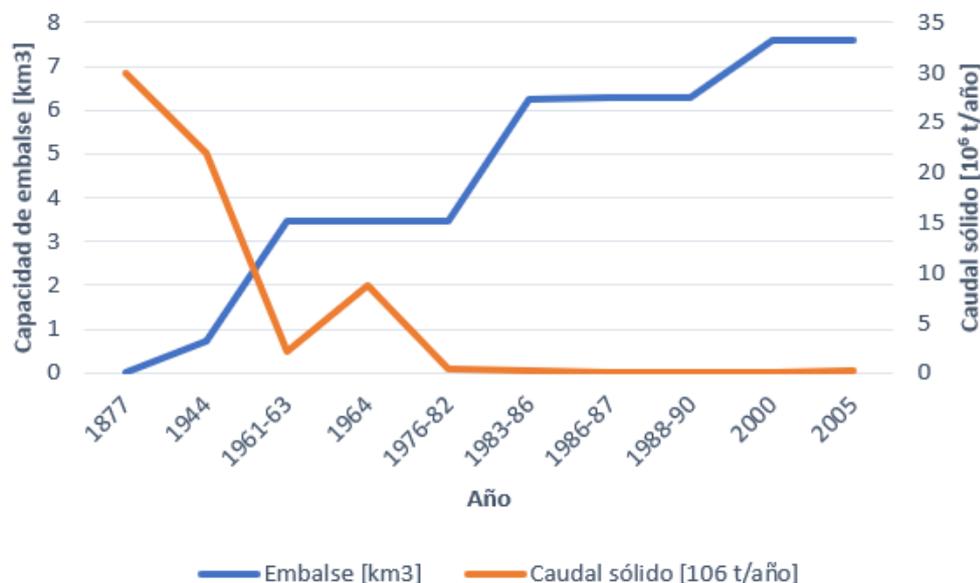


Figura 77: Evolución del caudal sólido en suspensión en la desembocadura del Ebro

Los problemas del Delta del Ebro en relación con el cambio climático y los procesos erosivos sedimentarios son sintetizados en el Plan de protección del Delta del Ebro [197] y por [199], del que se presenta un extracto:

- El principal problema del Delta es la falta de aportes sólidos del río. El sedimento que llega a la desembocadura es hoy el 1% del que llegaba a principios del siglo XX, debido a la regulación mediante embalses del 97% de la cuenca. Este sedimento está formado principalmente por limos y arcillas, que no participan en la dinámica litoral, en el sentido de crear playas.
- Los procesos erosivos dominan sobre los aportes del río, lo que provoca una erosión del frente Este del Delta (Cap Tortosa) y una sedimentación en las flechas del Fangar y de la Banya. Los terrenos amenazados (humedales, campos de cultivo e incluso urbanizaciones) son de un valor muy superior a los creados.
- El aumento relativo del nivel del mar, debido por un lado al cambio climático y por otro a la subsidencia, puede causar el hundimiento del Delta. No es descartable un ascenso de 50 cm en los próximos 100 años (lo que amenazaría a casi la mitad de su superficie).
- Además, la regulación de caudales debido a la presencia de presas provoca el estancamiento de la cuña salina lo que, combinado con la eutrofización, puede llevar a la anoxia en el fondo del río y las bahías.

A este respecto, algunos autores [269] muestran una comparativa de los volúmenes de retención de arena en los ríos cuyos deltas son los más importantes a nivel mundial (Figura 78), donde destaca el Ebro como el segundo en porcentaje de sedimentos retenidos.

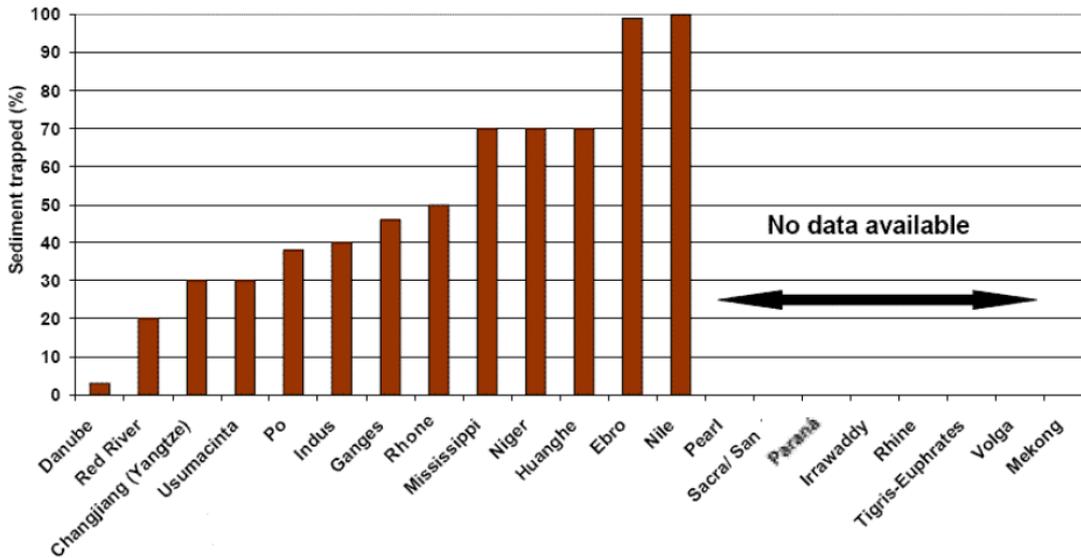


Figura 78: Porcentaje de sedimento retenido antes de llegar al Delta en algunos de los más importantes ríos con delta del mundo [269].

Los efectos de la regulación del río Ebro desde la década de 1950 se aprecian bien en la Figura 79, que muestra cómo el Cabo Tortosa ha retrocedido más de 2 Km desde 1957. Además de la desembocadura, la dinámica litoral ha producido erosiones en prácticamente todo el frente litoral del Delta, transportando el material erosionado hacia las puntas del Fangar y la Banya y hacia el interior de las bahías. En la playa de la Marquesa y en la Barra del Trabucador también se ha producido un importante retroceso de la línea de orilla (superior a 200 m) desde mediados del siglo XX.

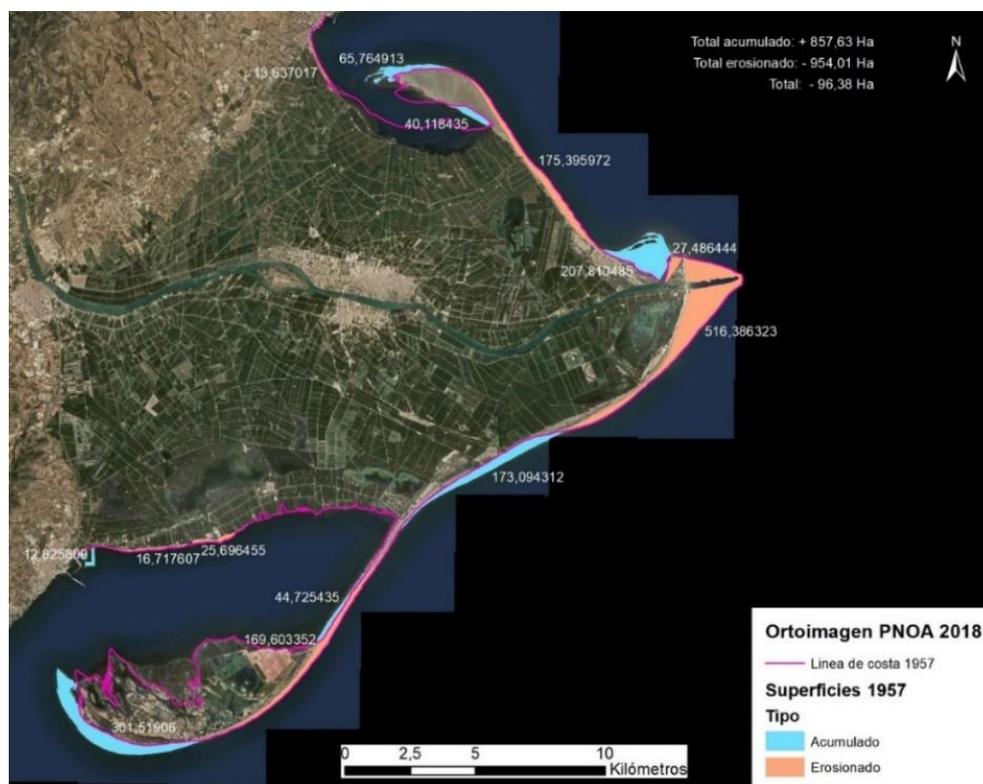


Figura 79: Variación de superficie de la costa del Delta del Ebro entre 1957 y 2018. Fuente: Plan para la protección del Delta del Ebro [197]

En conclusión, la pérdida de aportaciones sedimentarias por la regulación del río Ebro ha supuesto una grave alteración de la dinámica sedimentaria del Delta, que ha sufrido un grave retroceso de su frente litoral. Globalmente, no obstante, la superficie del Delta está en un equilibrio frágil, ya que las bahías se están colmatando a costa de la desaparición del frente costero [197].

La muestra la superficie de cuenca regulada en los ríos mediterráneos españoles ha crecido enormemente desde principios del siglo XX. Como puede verse, esta superficie pasa en los ríos mediterráneos de un 3% en 1908, a un 22% en 1960, un 63% en 1972³⁹ y un 71% en 1990.

³⁹ La cuenca del Ebro estaba ya casi completamente regulada en 1972.

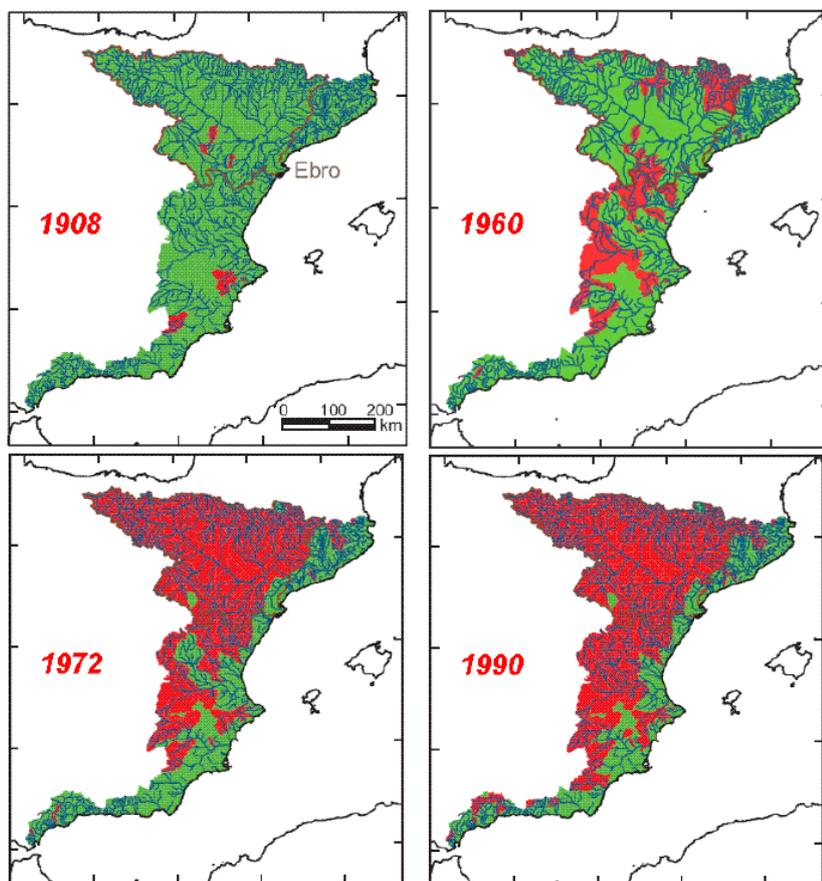


Figura 80: Evolución de la superficie de cuenca regulada para los ríos mediterráneos españoles [199]

Procesos erosivos y sedimentarios en el río Guadalfeo (Granada)

En el río Guadalfeo (Granada, España), como en otros ríos efímeros o cuasi-efímeros mediterráneos, la dinámica del transporte fluvial se encuentra condicionada por la gran disponibilidad de sedimento a lo largo del cauce principal [249], [182], [181], siendo los principales contribuyentes de sedimento al sistema costero. La relación cuenca-río-costa de estos sistemas es muy estrecha y repercute notablemente en los impactos erosivos y sedimentarios forzados por acciones antrópicas y/o climáticas. Sin embargo, aunque la evolución costera depende en gran medida de los sedimentos aportados por los ríos cercanos, la cuantificación de esta interacción aún no está bien descrita.

La construcción de la Presa de Rules, 19 km aguas arriba de la desembocadura del río Guadalfeo en 2004, regula el 85% de la escorrentía de la cuenca. Como consecuencia, el delta presenta actualmente problemas de erosión y un severo retroceso de la línea costera. Trabajos previos sobre el delta del Guadalfeo han puesto de manifiesto impactos en la geomorfología y sedimentología submarina [159], [104] la intrusión marina en el acuífero costero por falta de recarga fluvial [83], la caracterización de la hidrología del acuífero delta [84], y el análisis de la evolución del delta a lo largo del último milenio [146]. A partir de

trabajos batimétricos y topográficos y su relación histórica con los agentes forzadores marítimos y fluviales, [28] analizaron la dinámica erosiva y sedimentaria entre el sistema fluvial y costero y el impacto relacionado con diferentes escenarios de gestión de la presa de Rules. Los resultados revelaron que la dinámica del sistema deltaico del Guadalfeo se rige por la aportación de sedimentos del río durante eventos intensos. Estas aportaciones se distribuyen posteriormente a lo largo de la costa debido a la direccionalidad del viento y el oleaje dominante. Las mediciones de las características del sedimento repartido a lo largo de la red fluvial y transportado por carga de fondo confirmaron la correlación entre sistema fluvial y costero con granulometría, densidad aparente y composición mineralogía muy similares.

a)



b)

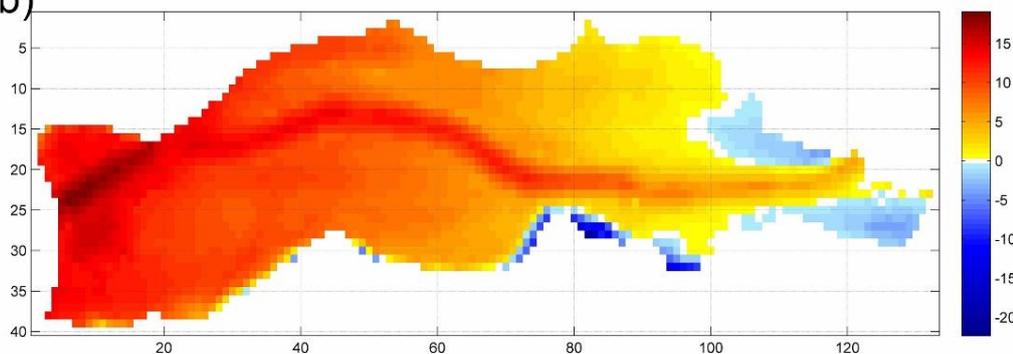


Figura 81: (a) Sedimento acumulado en la cola del Dique del Granadino, río Guadalfeo (presentado en [181]). (b) Resultados topográficos del sedimento acumulado en la cola del embalse de Rules durante 2005-2008. (b-c) embalse durante el evento de diciembre de 2009 (presentado en [199]).

Durante el periodo de estudio, 2005-2016, se registró un solo evento intenso en diciembre de 2009 de 3 días de duración acompañado de eventos moderados de precipitación durante el mes de enero de 2010. Durante este evento el sistema costero perdió casi $0,3 \text{ hm}^3$ de sedimentos (0,13% del volumen total y 2,34% del volumen inicial en el delta activo) desde la entrada en operación de la presa en 2004, mientras que el área que rodea la desembocadura del río perdió casi $0,31 \text{ hm}^3$ (0,63% de su volumen inicial y 11% de su volumen activo inicial). Estas pérdidas generaron un retroceso del litoral de hasta 87 m (92% del total) y un perfil de playa al disminuir hasta 820 m^2 (13% de la zona activa) y se encuentran relacionadas con la

acumulación de 0,14 hm³ en el dique de retención fluvial del Granadino [182] y 1,8 hm³ en el embalse de Rules [183]. La Figura 82 muestra los resultados del sedimento atrapado en ambas infraestructuras fluviales.

En consecuencia, las contribuciones de carga de fondo y flujo de derrubios superiores a 2 hm³ durante el periodo de este estudio habrían alcanzado el sistema costero en condiciones de no regulación, lo que representa más del 150% de la situación real. La diferencia entre los escenarios es superior a 0,75 hm³; en consecuencia, el embalse de Rules ha impedido el avance de un delta que estaba progradando antes de la construcción de la presa [135].

A pesar de los beneficios en el control de inundaciones y almacenamiento de recursos hídricos, estratégicos en ambientes semiáridos, los resultados de este estudio remarcaron el coste real de este tipo de infraestructura. A corto plazo, los crecientes procesos de erosión río abajo y el retroceso de la línea costera requerirán proyectos de restauración costosos. A largo plazo, se debe agregar el coste asociado con la pérdida de volumen del embalse por sedimentación. Esto sugiere que serían necesarios nuevos escenarios de gestión del caudal drenado por la presa, junto con la posibilidad de realizar un bypass de sedimentos desde el embalse aguas arriba hasta el tramo aguas abajo, para evitar la erosión tanto del sistema costero como del tramo entre el embalse de Rules y la desembocadura del río Guadalfeo. La importancia de este tipo de estudios radica principalmente en: (1) la exploración y demostración de la evolución de un delta con y sin regulación fluvial, (2) la comparación con otros deltas mediterráneos, y (3) la propuesta de nuevas metodologías de manejo, basadas tanto en datos de campo como en modelos numéricos, para controlar los problemas de erosión costera.

En relación con la evolución de la franja costera deltaica, a lo largo de este trabajo se ha mostrado que su retroceso ya es evidente en la actualidad, y que se intensificará en el futuro debido a los efectos del cambio climático. Así, además de las medidas planteadas en el párrafo anterior, serán necesarias otras actuaciones que ayuden a mitigar estos efectos. En el marco de las soluciones tradicionales, además de la utilización de obras rígidas, [27] propusieron mejoras en el diseño de las regeneraciones artificiales de playa en entornos deltaicos, de forma que se extienda su vida útil y se optimice el volumen de material empleado.

Por otro lado, en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) auspiciados por Naciones Unidas, se está trabajando en el diseño de “soluciones basadas en la naturaleza”. Estas soluciones se apoyan en el funcionamiento natural de los ecosistemas costeros, potencian la resiliencia y los servicios ecosistémicos, y persiguen el desarrollo de soluciones a largo plazo de forma interdisciplinaria, transversal y holística. Sin embargo, aún se encuentran a un nivel muy preliminar en su desarrollo, siendo necesario potenciar su desarrollo tecnológico antes de su implementación práctica. Como ejemplo, destaca la re-naturalización de entornos costeros mediante vegetación autóctona en zonas en las que los temporales son poco frecuentes y el contenido energético del oleaje es bajo. Asimismo, se están planteando soluciones híbridas que combinen la rigidez de las estructuras, pero empleando distintos

materiales y diseño que favorezcan el desarrollo de vida. A este respecto, el conocimiento científico-técnico se encuentra ante diversos retos complejos, pero al mismo tiempo trascendentales. ¿Se pueden diseñar mejor y de manera más sostenible las soluciones tradicionales? ¿Se puede rebajar su coste, reducir su impacto e incrementar su vida útil? ¿Podemos reproducir en laboratorio el comportamiento de soluciones naturales? ¿Cómo se estima el coste de las soluciones naturales? ¿Cuánto tiempo tardan en “funcionar”?

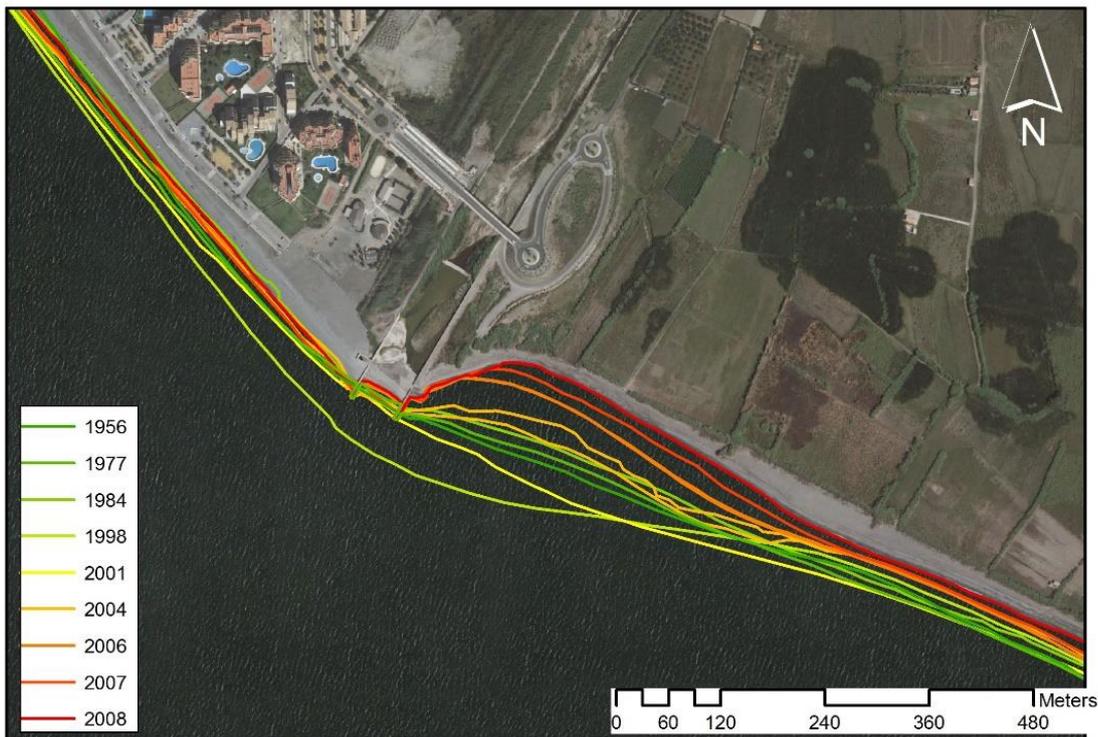


Figura 82: Evolución de la línea costera en el delta del río Guadalfeo.

Proyecto RISKCOAST

El proyecto RISKCOAST “Desarrollo de Herramientas para prevenir y gestionar los riesgos geológicos en la costa ligados al Cambio Climático” es un proyecto europeo Interreg de la IV convocatoria SUDOE busca promover la innovación para hacer frente a un abanico de peligros geológicos que amenazan la costa. El aumento en el número de eventos de precipitación intensa y de los períodos de sequía debido al cambio climático induce riesgos geológicos que afectan significativamente la economía y representan una seria amenaza para la población. La costa es un territorio particularmente vulnerable, ya que ha sido ampliamente modificado por el desarrollo urbanístico principalmente relacionado con el turismo. El proyecto RISKCOAST promueve la innovación y un conjunto de medidas de medidas basadas en la naturaleza, adaptadas a cada riesgo y territorio, respetando las medidas de protección del medio ambiente y un mínimo impacto en los ecosistemas. Para ello, RISKCOAST proporciona estrategias para una gestión de riesgos más coordinada y

eficiente, basada en 3 fases de una emergencia: prevención, respuesta y renovación. La cuenca del río Guadalfeo ha sido seleccionada dada su clara vulnerabilidad a estos procesos y su marcado vínculo entre procesos hidrológicos, fluviales y costeros.

5. Hacia unas líneas de trabajo futuro en ríos y costas

Joaquín Farinós Dasí

Instituto Interuniversitario de Desarrollo Local (IIDL) de la Universitat de València, FUNDICOT

5.1. Unos diagnósticos claros, pero necesitados de actualización continua

A nivel internacional, el cambio climático, en municipios con ríos y costas, genera impactos significativos en el abastecimiento de agua, la infraestructura de saneamiento y de pluviales y el tratamiento de aguas residuales, el sector energético, el sistema de transporte urbano y el sistema de salud pública⁴⁰. Las intensas sequías e inundaciones, los dos riesgos más importantes, amenazan el suministro de agua, con el colapso de las redes de abastecimiento y saneamiento, con provocar inundaciones extremas, aumentar el nivel del mar, incrementar los efectos de las marejadas ciclónicas sobre los ecosistemas, las infraestructuras urbanas, los espacios públicos y las edificaciones.

En España, la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático en la Costa Española ofrece un claro diagnóstico sobre los efectos esperados: subida del nivel del mar; la inundación de playas y su erosión, como la de dunas y acantilados, con consecuencias como la pérdida de humedales y servicios ecosistémicos; la afección a la población por inundación permanente, los daños a infraestructuras y los cambios en la operatividad de los puertos⁴¹.

España se caracteriza por disponer de una gran capacidad de embalse, lo que acaba repercutiendo en las características sedimentológicas de los ríos y produce la disminución del volumen de agua que alcanza las desembocaduras y el medio marino. La situación resultante es que gran parte de los sedimentos quedan retenidos en los diferentes embalses de las cuencas y se modifica la capacidad erosiva de los ríos es menor como consecuencia de la disminución de caudales a causa de la regulación mientras que se acelera con la artificialización de los cauces. Por otra parte, la frecuencia e intensidad de los eventos torrenciales tiene importantes repercusiones en los medios fluvial y marino, provocando daños en las infraestructuras y una mayor entrada de contaminantes y basuras. Esto acaba afectando a la calidad de aguas para el baño, lo que ha obligado en algunos países a la práctica solución de colocar redes y mallas de captura de residuos sólidos urbanos (que se

⁴⁰ Rosenzweig, C., Solecki, W, Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., Ali Ibrahim, S. (Eds.) (2018). *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge: Cambridge University Press, 811 pp.

⁴¹ MAPAMA (2016), "Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española".

retiran y limpian de forma continua) al final de los sistemas de esorrentía y evacuación, previamente a su entrada en otro colector mayor o a su desembocadura al mar.

La falta de sedimentos y la artificialización provocada por el alto grado de urbanización de la costa, así como la construcción y ampliación de los puertos y obras de defensa, hace que las áreas en donde esto ocurre tengan una mala respuesta de adaptación a los cambios asociados al cambio climático. Las playas con menor anchura y pendiente sufrirán más. La subida del nivel del mar hace que los daños esperables asociados al oleaje puedan ser mayores, afectando tanto a instalaciones portuarias y a estructuras de defensa costera como a cualquier actividad que tenga lugar en la costa. Los deltas, donde se da la subsidencia del terreno, la subida relativa del nivel del mar será mayor que en otras zonas por ese motivo.

Pareciera que nos encontráramos en la tormenta perfecta: Costa regresiva y en desaparición; mayor presión de la población y de las actividades sobre esta franja, cuya utilidad se irá además estrechando por la disminución de las precipitaciones; con fenómenos extremos más frecuentes e intensos, aumentando así la presión sobre los recursos (con los consiguientes efectos de sobreexplotación y contaminación, incluida la salinización), la vulnerabilidad y el riesgo.

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) es el instrumento de planificación básico para procurar una acción coordinada y coherente (transversal -desde distintos sectores- y multinivel -desde las diferentes escalas territoriales-) de medidas que pretenden hacer frente a todos estos riesgos y amenazas asociadas al cambio climático. Tras el pionero Plan Nacional de Adaptación, aprobado en 2006, previo a la propia Estrategia Europea de Adaptación aprobada en 2013, en septiembre de 2020 se aprobaba el segundo PNACC para el periodo 2021-2030 ⁴².

Cabe advertir que la adaptación al cambio climático en materia de gestión de los ríos (en especial) y las costas no es una línea específica sino transversal a algunas de las 81 líneas y 18 ámbitos de trabajo como los de Agua y recursos hídricos, Costas y medio marino, Reducción del riesgo de desastres, Clima y escenarios climáticos, Sistema financiero y actividad aseguradora, Ciudad, urbanismo y edificación, Educación y sociedad, Agricultura, ganadería, pesca y alimentación; o la de Energía, entre otras. Tal vez en un futuro, en la próxima estrategia y respectivo plan, pueda cobrar un mayor protagonismo como una línea propia.

⁴² <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico>

5.1.1. Hacia una visión sistémica de conjunto en el medio y largo; pero focalizando y concentrando esfuerzos en el corto plazo y en los riesgos más importantes

Durante la segunda mitad del siglo XX se ha observado una reducción de los recursos hídricos disponibles en muchas cuencas de la península ibérica. Se ha producido una disminución moderada de la precipitación acumulada anual, con cambios significativos en su distribución a lo largo del año, y se prevé una reducción de la precipitación anual en buena parte del territorio. Como consecuencia, el caudal de los ríos españoles se ha reducido, detectándose una tendencia a la baja de los caudales anuales, más pronunciada en primavera e invierno. Incluso en los escenarios de emisiones más optimistas se prevé una disminución de la disponibilidad de agua y de su calidad, lo que tendrá a su vez un impacto muy notable en los ecosistemas acuáticos y los sectores económicos que más dependen del uso del agua. Los cambios en el ciclo natural del agua inciden en la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles, con impactos en actividades socioeconómicas como el abastecimiento urbano, la agricultura, la producción de energía hidroeléctrica, los usos recreativos o la acuicultura (por la mayor concentración de contaminantes, y la reducción de caudales y de oxígeno en el agua)⁴³.

El cambio en la estacionalidad de las precipitaciones, el cambio en el régimen nival o la intensidad de las precipitaciones, junto con el aumento del nivel del mar pueden producir alteraciones significativas en el ciclo hidrológico, con impactos negativos en los ecosistemas acuáticos dependientes. Además, los escenarios de cambio climático predicen un aumento paulatino en la temperatura del aire a lo largo del siglo XXI y, asociado a este, de la del agua superficial. Ello acabará afectando a los ecosistemas y al estado biológico de las masas de agua superficiales.

Una reducción de la precipitación acumulada en forma de nieve, pero con incrementos en los valores de precipitación máxima ocasional, puede afectar de forma negativa en la recarga de acuíferos y provocar adelantos de la fusión nival que, a su vez, pueden aumentar la frecuencia e intensidad de las inundaciones por deshielo, especialmente en las cuencas no reguladas. En las reguladas, por su parte, pueden incrementar el ritmo de colmatación de los embalses.

Las inundaciones son el peligro natural que más riesgo y daño provocan en el mundo, en especial las instantáneas. A pesar de las medidas de tipo estructural (presas, diques, motas...) las pérdidas asociadas siguen aumentando. Porque se intensifican (su peligrosidad es mayor) y porque también aumenta la exposición, al ocuparse localizaciones poco aptas cuando no directamente inadecuadas, si se prescinde de una adecuada planificación de los usos del suelo. Según el Consorcio de Compensación de Seguros, la media de episodios graves de inundación en España es de 10/año, siendo éste el riesgo natural que produce los mayores

⁴³ Vid. Estrela-Segrelles, C., Pérez-Martín, M. A. (2020): "Estrategia de adaptación al cambio climático en la planificación hidrológica a escala de Demarcación. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar". XI Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. Septiembre 2020.

daños (materiales y humanos). Van a ser más frecuentes y con caudales máximos más elevados.

A todo ello, se suma el previsible incremento del riesgo de sequías, más frecuentes, largas e intensas. Tanto las sequías de 2 años de duración, como las de 5 años, serán más frecuentes (tendrán un menor periodo de retorno, para un mismo déficit)⁴⁴. Todas ellas son condiciones que, en algunas partes del litoral mediterráneo español, especialmente en la zona del SE, vienen produciéndose a lo largo de los años. Por esta razón, dada su mayor tradición y experiencia en la gestión de estas situaciones, estos espacios pueden servir de referencia para el conjunto del territorio.

5.1.2. El reto de contar con datos y mapas actualizados para la toma de decisiones

Los impactos y riesgos asociados a los recursos hídricos por efecto del cambio climático van más allá de la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente, y la gestión del recurso empieza a abordarse desde una visión más holística e integradora. Para seguir la evolución de los distintos efectos se requiere generar y recopilar la información necesaria de forma continua y actualizada. Solo así se puede realizar un adecuado seguimiento de los mismos y elaborar las oportunas cartografías que puedan localizar las evidencias. Se facilita así la toma de decisiones para poder afrontarlos y gestionarlos de forma adecuada a partir del diseño de estrategias de adaptación precisas, con medidas planificadas y contingentes⁴⁵.

Además de la tarea de recogida, almacenaje y actualización de datos, otras de las funciones de observación es la elaboración de informes, estudios (que sirvan de base para las memorias justificativas de planes y actuaciones a desarrollar) y escenarios prospectivos. En este sentido el nuevo PACC contempla que en los próximos años se impulse el desarrollo y actualización de estudios a nivel de Demarcación que incorpore medidas de adaptación anticipadas, planificadas, coordinadas y contingentes, encaminadas al cumplimiento de dichos objetivos a través de los Planes hidrológicos de cuenca de cuarto ciclo planificación (2027-2033). Los planes hidrológicos de cuenca elaborarán una evaluación de los riesgos climáticos para cada demarcación hidrográfica que, deberá contener al menos, una estimación del riesgo a medio plazo para las garantías hídricas, los objetivos medioambientales y la seguridad de las infraestructuras hidráulicas.

Revisar y actualizar con la frecuencia necesaria y debida estos informes, mediante un deseable sistema de evaluación continua, requiere de la recolección, almacenaje, mantenimiento y mejora de los datos disponibles, sobre los que poder ir actualizando los indicadores. Su traslado a la nueva cartografía permite afinar en la identificación de los

⁴⁴ CEDEX (2017), "Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España".

⁴⁵ Los mapas de riesgo se han definido como una combinación del grado de impacto y de la vulnerabilidad, de forma que el riesgo es muy alto cuando el impacto es muy alto y se tiene una vulnerabilidad alta.

espacios que quedan evidenciados, para concederles la atención adecuada y necesaria en cada caso.

La cartografía de las amenazas es un elemento importante para la gestión del riesgo de desastres; tanto para la gestión de emergencias (a través de planes de contingencia) como para la prevención de riesgos (como base para la planificación territorial y urbana). Con respecto a la dinámica de las amenazas y la vulnerabilidad, toda evaluación y cartografía debe basarse no solo en la dinámica pasada sino también en la futura. Casos de buenas prácticas como los de Rotterdam y de la región francesa de Nouvelle-Aquitaine vienen a acreditar la utilidad de los mapas y observatorios que proporcionan evidencias a la hora de apoyar la toma de decisiones (vid. el proyecto TITAN del Programa ESPON). Sin embargo, la falta de información actualizada y continua, que no se limite a después de cada desastre en particular, resulta un problema generalizado; a pesar del punto de inflexión y mejora que significó la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, de Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación. El mayor reto en un futuro inmediato sigue siendo la generación de datos de precipitaciones máximas. Mejorar la predicción en tiempo cercano de eventos a través del uso de los datos satelitales y los sistemas de teledetección pueden mejorar la predicción de avenidas realizando seguimiento en continuo del estado de humedad del suelo. Especialmente relevante es aprovechar el potencial que proporciona el programa Copernicus.

La citada Directiva 2007/60/CE fue traspuesta a la normativa española por el Real Decreto 903/2010, que en su artículo 14.4 establece que las posibles repercusiones del cambio climático en la incidencia de las inundaciones se tomarán en consideración en las revisiones de la evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI) y de los planes de gestión del riesgo de inundación (PGRI), de segundo ciclo. La Dirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha venido trabajando en la aplicación de la Directiva de inundaciones, desarrollando la metodología para la elaboración de cartografía de inundaciones pluviales, la mejora de la información de riesgo disponible en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) y la ampliación de las capacidades del programa Iber, uno de los líderes mundiales de software para cálculos hidráulicos e hidrológicos, que ahora con el nuevo enfoque de la gestión de riesgos considera también aspectos geomorfológicos y socioeconómicos⁴⁶.

Esta cartografía permite una nueva categorización de los puntos de especial importancia, tanto los de riesgo como aquellos que tengan un especial valor paisajístico o recreativo del entorno fluvial y costero que pueden ser alterados por la gestión fluvial frente a inundaciones y por los cambios en el litoral, y que por ello pueden dejar de prestar los servicios ecosistémicos culturales o de otro tipo, como parte de la nueva Infraestructura verde y azul, que venían suministrando (como trata de hacer el proyecto DRAINAGE). En este caso, los tipos

⁴⁶ Vid. el texto "Mejora del conocimiento sobre riesgos de inundación para su mejor identificación temporal y espacial" de Juan Francisco Arrazola Herreros, de la DG del Agua, en este mismo volumen.

de puntos de especial importancia en caso de una inundación se revisan y re-categorizan, siguiendo para ello el criterio de las autoridades de Protección Civil.

Respecto del SNCZI, se está implementando una nueva metodología de cálculo de la población residente en zona inundable. Ahora esa cifra se calcula usando los datos disponibles por distrito censal, en lugar de usar el dato municipal agregado. El SNCZI ha supuesto una labor importante de colaboración con administraciones autonómicas y locales. De acuerdo con el RD 638/2016, se obliga a la publicidad de su existencia y consulta pública⁴⁷.

La cartografía de inundaciones que se ha convertido en todo el Estado español, desde 2008, en el documento de acreditación jurídica del riesgo; sin olvidar que algunos años antes ya existían mapas oficiales de riesgo de inundación en algunas Comunidades Autónomas⁴⁸. Se han producido sentencias judiciales en diferentes regiones españolas que han frenado los intentos de ocupación de áreas inundables con usos urbanos o infraestructuras, atendiendo a lo establecido en las cartografías oficiales existentes. El mapa está actuando como un documento de acreditación jurídica del riesgo y del derecho de indemnización, de ahí la necesidad de poder contar con ellos, a partir de datos y proyecciones actualizadas.

Como se decía, la falta de datos actualizados es un problema recurrente, en especial para desarrollar índices de vulnerabilidad ante avenidas súbitas, tanto a nivel regional como, sobre todo, local. Por ejemplo, mediante la elaboración de un índice de vulnerabilidad por barrios o sectores urbanos, o incorporando indicadores de sensibilidad social, económica y ambiental a la hora de decidir el futuro suelo urbanizable, teniendo en cuenta así la capacidad adaptativa del municipio. El suelo no urbanizable de protección y el rústico puede ser incorporado como áreas susceptibles de ser impactadas por riesgos asociados a inundaciones, y forma parte de la nueva Infraestructura verde y azul. Ello plantea nuevas necesidades como la capacitación sobre cambio climático, y también nuevos instrumentos como la planificación sectorial climática, planes de emergencia... o la reorientación en este sentido de los planificación territorial y urbana existentes, como vemos a continuación.

⁴⁷ Del mismo modo se contempla disponer de un sistema de información hidrológica actualizado y de datos de observación sistemática de los efectos del cambio climático sobre las masas de agua, que ayuden a dar rápida con actuaciones de mejora del estado de las masas de agua y de los ecosistemas acuáticos que resulten prioritarias. Prestando una especial atención a la protección de las aguas subterráneas, tanto en lo referente a su cantidad (recarga de acuíferos) como calidad (contaminación y salinización, especialmente en áreas litorales y de fuerte presión de actividades antrópicas). El incremento del nivel del mar puede intensificar los procesos de intrusión marina, ya agravados por la sobreexplotación en algunas zonas costeras.

⁴⁸ Sólo han abordado documentos y normas específicas de reducción del riesgo de inundaciones mediante planificación territorial Cataluña, País Vasco, Comunitat Valenciana, Andalucía, Baleares y Murcia (que tiene en fase de elaboración en estos momentos su Plan de Ordenación Territorial de Prevención Riesgos de Inundación -POTPRI-). Estos planes suelen incorporar cartografías de riesgo que se pueden consultar en servidores web regionales. Por tanto, se trata de las CCAA mediterráneas, a las que se suma el País Vasco.

5.2. De los diagnósticos a los nuevos planes, programas y proyectos de actuación

5.2.1. Hacia una nueva práctica de la planificación basada en las nuevas evidencias del cambio climático

A la hora de integrar la consideración de los efectos del cambio climático en la planificación territorial, siguiendo una estrategia de adaptación (invertir para prevenir los impactos de los peligros naturales queda demostrado que sale a cuenta), cabe preguntarse cómo llevarlo a la práctica, cómo trasladar a la ordenación del territorio y a la toma de decisiones esta voluntad de adaptación. Más allá de la franja del comportamiento más o menos estandarizado hasta la fecha por el que se rigen los instrumentos y enfoques tradicionales, las nuevas condiciones exigen su revisión y medidas adicionales capaces de poder hacer frente con alguna garantía de éxito a estas nuevas situaciones que escapan del sistema establecido (siguiendo la lógica de que a nuevos y grandes males deben seguir grandes y nuevos remedios). Todo instrumento de planificación, estrategia de adaptación y programa de acción debe poder ser aplicado y gestionado, no solo teniendo en cuenta largos periodos de recurrencia sino también a corto plazo (en algunos casos, como en el de la ciudad de Rotterdam, se ha fijado un plazo de 10 años para el riesgo de inundaciones provocados por lluvia, lo que viene a coincidir con el plazo de revisión habitual de los planes).

Estos cambios pueden realizarse en los propios instrumentos de OT, bien los de carácter sectorial como, aunque menos frecuentes, los de carácter territorial o integral, a través de los instrumentos de planeamiento urbanístico o, finalmente, a través de los proyectos y actuaciones concretas (de interés regional o proyectos de urbanización) más habituales. Veamos algunos ejemplos. En los Países Bajos hay un proyecto en curso para integrar la Ley de Ordenación del Territorio en la Ley de Ordenación y Medio Ambiente (la nueva Estrategia Nacional de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente). En Francia con el fin de coordinar de forma integrada y coherente las actuaciones tanto a nivel nacional como en las nuevas regiones (agrupación de las anteriores), se opta por nuevos instrumentos de planificación intersectorial integrada, que finalmente deben traducirse en nuevos usos del suelo⁴⁹. En otras ocasiones, se opta por la acción local en proyectos y acciones específicos, con un enfoque *ex-post* más reactivo en el caso de la ciudad de Praga, o bien integradas en planes y programas previamente definidos en las de Pori o Rotterdam (vid. el proyecto ESPON TITAN).

Así pues, la planificación territorial y urbanística encara una nueva etapa con la necesaria integración del cambio climático en sus determinaciones. Aunque esto representa una

⁴⁹ En la región francesa de Nueva Aquitania, la integración de la ordenación territorial y sectorial (Plan Regional de Coherencia Ecológica; Plan Regional de Clima, Energía y Aire; Plan Regional de Infraestructuras, Transporte e Intermodalidad; Plan Regional de Gestión y Prevención de Residuos) en una única figura a nivel regional (el STRADDET -*Schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires* definidos por el gobierno francés -<https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/sraddet-un-schema-strategique-prescriptif-et-integrateur-pour-les-regions->) trata de facilitar la reunión de diferentes enfoques para tomar decisiones basadas en la prevención de riesgos y la adaptación al cambio climático.

intensa oportunidad de transformación en la forma de entenderla y llevarla a cabo, con implicaciones sobre la forma en que se desarrolla el mismo proceso de planificación, no parece sin embargo que pueda aspirarse a una renovada planificación únicamente a partir de la necesidad de adaptación al cambio climático y la nueva gestión de los riesgos del cambio climático asociados a él. Pero sin duda puede ayudar a avanzar, como ya está haciendo, en la formulación estrategias de adaptación (y sus respectivos planes), y la necesidad de considerar el sistema natural en la planificación territorial a la hora de poder implementar un deseado nuevo modelo de desarrollo sostenible, resiliente y bajo en carbono; en línea con el Pacto Verde de la UE y el Plan de Recuperación en el actual contexto de la COVID 19.

A nivel normativo, en España, el RD 638/2016, por el que se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, introduce algunas novedades para la consideración y tratamiento del riesgo de inundaciones en la planificación territorial y urbanística, tales como: el recurso a fuentes y métodos hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos, fotográficos, cartográficos e históricos para la mejor delimitación del Dominio Público Hidráulico, sus áreas de influencia y muy especialmente las zonas inundables (con periodos de retorno de 500 años); la posibilidad de ampliar de los 100 m. a ambos lados del cauce (la llamada "zona de policía") incorporando un espacio adicional como "Zona de Flujo Preferente" en la que es posible limitar y prohibir determinados usos según tipo de suelo (rural o urbanizado); también, con el mismo criterio de prevención que en caso anterior, la obligación por parte del promotor de aportar "Declaración de Responsabilidad" y "Certificado de inscripción en el Registro de la propiedad"⁵⁰.

A la cuestión de cómo hacer operativas las necesidades de adaptación en los instrumentos de planificación territorial, una forma sencilla de hacerlo es a partir del enfoque sectorial. Se trataría de determinar cuál es el impacto sobre cada una de las políticas sectoriales, o sobre los vectores principales de las dinámicas territoriales (agricultura, agua, energía, turismo...), de la subida de las temperaturas, disminución de las precipitaciones, incremento de la frecuencia y la intensidad de episodios violentos y de los riesgos... asociados al cambio climático. Este diagnóstico puede partir de documentos o estrategias genéricas a nivel internacional y nacional, en base al trabajo de grupos de expertos con una metodología de elaboración de escenarios que diera lugar a un listado de medidas de adaptación. De acuerdo con estos escenarios, tanto los espacios de riesgo identificados como las áreas para las que será necesario redefinir los usos del suelo posibles, de acuerdo con la batería de medidas de adaptación recomendadas, podrán ser cartografiados. El resultado de todo ello sería una rezonificación y un replanteamiento de los cursos de acción a seguir para el desarrollo territorial sostenible del área en cuestión⁵¹.

Respecto al procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), como guía o tutor de los procedimientos de elaboración de los instrumentos de planificación territorial (y dado que

⁵⁰ Vid. el texto de Jorge Olcina Cantos "Incorporación de los riesgos naturales en la planificación territorial" en este mismo volumen.

⁵¹ Vid. J. Farinós, J. (2010). Adaptación al Cambio Climático desde la Planificación Territorial en las Áreas Costeras. Comunicación presentada el XII Coloquio Ibérico de Geografía. Oporto, del 6-10 de octubre.

la planificación territorial y la protección civil a menudo no están formalmente bien conectadas⁵²), los riesgos territoriales, paisajísticos y patrimoniales también deben incluirse como parte del alcance y de los planes de participación pública de la EAE; un proceso vinculante dentro de cualquier plan e intervención con impactos ambientales⁵³.

5.2.2. Combinando métodos duros y más blandos (bien fundamentados metodológicamente y legitimados por resultados)

Las intervenciones de adaptación y protección pueden ser tanto duras (ingenieriles, más consolidadas y con una dilatada experiencia a partir de la que poder partir, que todavía son las preferidas por los responsables políticos y técnicos, así como por los negocios y empresas beneficiarias de estos proyectos) como blandas (naturaleza- basadas en soluciones, utilizando servicios ecosistémicos proporcionados por la Infraestructura verde y azul, de tipo más experimental y flexible). Las sociedades han asumido, tradicionalmente, que el primer tipo de obras solucionaba definitivamente el problema de las inundaciones, al tiempo que generaban rédito político a corto plazo a los gobiernos que las desarrollaban. Sin embargo, ambos son complementarios y necesarios, y se promueve su combinación.

La confianza depositada en las supuestas capacidades de resistencia y control de la naturaleza por medio de actuaciones estructurales (encauzamientos, presas de contención y laminación de avenidas, etc.), favoreció, de un lado, la promoción de la agricultura de regadío en territorios climáticamente poco aptos, y de otro, la integración forzada de los tramos finales de cursos fluviales y la usurpación de sus lechos de inundación en áreas urbanas, con los problemas posteriores añadidos que eso implicó. La artificialización de las motas suele comportar la pérdida de conexión lateral de los ríos con su llano de inundación, conllevando la pérdida de buena parte de los servicios ecosistémicos ligados al medio fluvial. También pueden incrementar los daños in situ (si las medidas fallan o se ven superadas) y, sobre todo, aguas abajo al modificar el funcionamiento hidrogeomorfológico y ecológico del río.

En este sentido cobran importancia las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). También la Infraestructura verde y azul (IVyA) como instrumento y código de acción para futuras intervenciones, enfocando los sistemas generales y locales de espacios libres desde una perspectiva climática, con el objeto de convertirla en recurso básico para adaptarse a las condiciones cambiantes que impone el nuevo marco climático. Una planificación urbana que fomenta la IVyA y las SbN aumenta la resiliencia de la ciudad y permite obtener beneficios

⁵² De hecho, la Protección Civil ha presentado habitualmente un carácter ex-post, gestionando los desastres cuando ocurren, gracias a Estrategias de Emergencia previamente preparadas (ex ante) que, por lo general y sin embargo, no suelen estar conectadas con otras planificaciones.

⁵³ Al respecto vid. Almenar, M. y Antequera, E. (2020). Acerca del procedimiento de evaluación ambiental estratégica y su incardinación en el procedimiento de elaboración y aprobación de planes. En Farinós, J. (coord.); Peiró, E. y Farinós, J. (Eds.), Marco legal y procedimental de la Ordenación del Territorio en España: diagnóstico y balance (pp. 59-82). Thomson Reuters-ARANZADI.

tales como la mejora de la calidad del aire, la biodiversidad, la salud y la calidad de vida para la ciudadanía. Por su parte, en el ámbito rural la prioridad de las acciones debe ser la conectividad ecológica y la protección de los cursos fluviales y los ecosistemas costeros. La IVyA podría ser útil para superar el problema de los conflictos con la propiedad privada del suelo a la hora de decidir qué usos pueden ser viables en áreas de riesgos naturales. Junto a los Espacios Naturales Protegidos (EPN) y los Bienes de Interés Cultural (BIC), la inclusión de los espacios de riesgo en la IVyA contribuye a reforzar su seguridad jurídica desde el punto de vista de la planificación territorial y urbana, como ya sucede a efectos de indemnización.

Así pues, marcados por las consecuencias de la promulgación de la Directiva 60/2007, se está transitando de un modelo tradicional de gestión del riesgo de inundación mediante obra dura a otro que introduce las SbN. Progresivamente, desde un modelo eminentemente resistivo (basado en la adopción de medidas estructurales cuya finalidad es mantener a la población alejada de las inundaciones) se va avanzando hacia otro más proactivo de mejora de la resiliencia y capacidad de adaptación de los sistemas urbanos y ecológicos ante la ocurrencia de fenómenos extraordinarios. De este modo, se está produciendo un cambio de modelo de gestión del riesgo de inundación hacia un enfoque de gestión integrada, pues la adopción de soluciones estrictamente estructurales no es sostenible ni desde un punto de vista hidrológico ni ambiental ni económico, y tampoco es garantía de protección total.

Se van abriendo paso así nuevos esquemas de gestión más integrados que, junto con una rigurosa caracterización de los procesos físicos o naturales, de acuerdo con las técnicas y métodos científicos hipotético-deductivos más tradicionales, también consideran la componente social y la económica, con sus propios elementos que hay que decidir hacia dónde poder dirigirlos. Esto acaba por exigir nuevas aproximaciones metodológicas más interdisciplinarias.

El modelo tradicional de motas, limpieza, protección, regeneración y dragado, basado casi exclusivamente en la construcción de obras estructurales de defensa y mantenimiento, se ha demostrado limitado por diversos motivos. Porque no se dispone de suficientes recursos materiales, humanos ni económicos para aplicarlo ni de forma generalizada ni continuada en el tiempo; ahora más por los efectos de la crisis económico-financiera. También porque sus efectos no permanecen lo esperado al tiempo que deterioran ambientalmente los espacios naturales donde se ejecutan (incisión del cauce, socavación y descalce de infraestructuras, acumulación y concentración puntual de sedimentos...)⁵⁴. Este tipo de actuaciones cada vez despiertan una mayor oposición social, cuando no resultan en algunos casos contrarias a las nuevas normas (como el RD 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión del riesgo de inundación, la propia Ley de Aguas y su Reglamento y, también, la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos).

⁵⁴ Las infraestructuras hidráulicas han sido diseñadas con unos márgenes de seguridad que pueden verse superados en las nuevas condiciones y efectos del cambio climático. Respecto de la progresiva acumulación de sedimentos, cabe pensar en nueva gestión en los embalses que permitan desviarlos antes de la entrada para trasladarlos presa abajo.

En cambio, el modelo de SbN se inspira y aprovecha las dinámicas hidromorfológicas naturales de los tramos para mantener la capacidad de desagüe. Estas soluciones reducen la necesidad de mantenimientos periódicos y alargan la vida útil de las defensas frente a inundaciones, al someterlas a menores presiones hidráulicas. El modelo SbN requiere, por un lado, recuperar el espacio fluvial aledaño al cauce y, por otro, adaptar los usos y aprovechamientos de ese espacio a las crecidas que ocurren en él periódicamente. Esto se hace a través de la planificación territorial y urbanística (en la ciudad), a las que ya nos hemos referido en el epígrafe anterior. Al respecto, entre los principales elementos de la Estrategia de la UE sobre Biodiversidad para 2030 se incluye la restauración de la continuidad longitudinal de 25.000 km de ríos europeos. España contribuirá a ese compromiso con 3.000 km de nuestros ríos y hasta 20.000 ha de humedales. Alguno de los trabajos presentados muestra que la vegetación de ribera, dado que proporciona zonas de sombreado, reduce la radiación solar directa sobre el agua y por lo tanto reduce la temperatura del agua, favoreciendo además la biodiversidad y los refugios para las especies, como parte de la IVyA⁵⁵.

Todo esto nos devuelve (no sin dejar de sufrir cierto síndrome de Penélope, haciendo y deshaciendo o rehaciendo sobre lo hecho) a la naturaleza; desde una posición de *Deus ex machina* a una vuelta al curso natural de los hechos, por razones naturales pero también económicas, tratando de transitar de las acciones 'sobre' el territorio a las acciones 'con' el territorio⁵⁶.

La recuperación del litoral mediante SbN permite hacer frente a los efectos del cambio climático con medidas sencillas de coste reducidos. Se pretende favorecer el desarrollo de iniciativas de adaptación en el DPMT y los espacios conexos, como las restauraciones ambientales de los espacios naturales costeros (playas, sistemas dunares y marismas⁵⁷), la demolición de elementos artificiales vulnerables, intervenciones para aumentar la resiliencia de infraestructuras en riesgo, reubicación de edificaciones o cambios en los planes urbanísticos que eviten la construcción de nuevas instalaciones en zonas consideradas inadecuadas.

⁵⁵ Vid. el texto de Miguel Ángel Pérez Martín, "Medidas para la adaptación de la gestión del agua y la planificación hidrológica al Cambio Climático. Aplicación en la Demarcación del Júcar".

⁵⁶ El ejemplo de la restauración de los meandros sobre el río Arga recogidos en el texto de incluido en este volumen (Gonzalo Magdaleno Payán, Dirección General del Agua, "Conexión hidrológica y mejora de hábitats en los meandros del tramo bajo del río Arga (Navarra)") resulta ilustrativo, re-naturalizando y re-domesticando el espacio para un uso también recreativo.

⁵⁷ Así, por ejemplo, en los frentes de arenales mediterráneos de La Manga del Mar Menor o Torrevieja se han instalado estructuras para la captación de arena, de acuerdo a los vientos predominantes. Los captadores permiten recuperar la estructura de duna y aprovechar sobrantes para la recuperación de las playas, sin necesidad de recurrir a dragados en la superficie marina. También ha permitido recuperar espacios para la vegetación autóctona existente, permitiendo generar más espacio para especies típicas de arenales, y aumentar la población de especies escasas en periodos cortos. Estas actuaciones permitirían asegurar la conectividad de los arenales y posibilitar la migración de estos ecosistemas frente a los procesos de retroceso de la línea de costa, lo que se ha demostrado viable en otros países europeos. (Vid. la aportación de Carmen María Martínez-Saura, Pedro García Moreno, Jorge Sánchez-Balibrea, Pedro López Barquero, "Restauración de sistemas dunares litorales" en este mismo volumen).

A nivel urbano se ha experimentado con de soluciones de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible cuyo funcionamiento se basa en la naturaleza (SUDS/SBN) (como en algunos núcleos urbanos del arco interior del Mar Menor): cubiertas vegetadas, pavimentos permeables, depósitos de infiltración, cunetas vegetadas, parterres inundables, áreas de bio-retención, zanjas de infiltración alcorques, etc. Estas soluciones pueden permitir controlar la escorrentía, mejorando la capacidad de infiltración y derivar el flujo, el filtraje y el tratamiento de las aguas.

5.3. La necesidad de un tratamiento diferenciado por áreas, aprendiendo de la experiencia de algunas de ellas

La gestión del riesgo requiere de medidas a distinta escala, desde la territorial a la adaptación de los espacios libres urbanos, y ser adaptada a cada contexto. Pero, por otro lado, para una adecuada estrategia de protección de los recursos naturales y patrimoniales, las intervenciones deben alcanzar un umbral suficiente para que resulten efectivas. Ello requiere una cooperación territorial, entre localidades y regiones. Las regiones naturales no se rigen por las fronteras, por lo que, más que hablar de regiones político-administrativas, debe pensarse en regiones ecológico-funcionales. Lo que conduce a las nuevas prácticas de gobernanza, tanto entre niveles político-administrativos como para coordinar los instrumentos de planificación territorial y ambiental, a lo que ya nos hemos referido en un apartado previo.

La mayor reducción de los recursos hídricos a nivel español se espera en la zona centro y sur de la península. El Visor de escenarios de la plataforma AdapteCCa⁵⁸ muestra una variación media para la precipitación de -5% para la media de los modelos del escenario RCP4.5 y de -17% para la media de los modelos del escenario RCP8.5. Unos valores que en las cuencas del centro y del sur serían mayores, entre -5% y -10% para el escenario RCP4.5 y entre -20% y -30% para el escenario RCP8.5, aumentando significativamente el estrés hídrico de estas cuencas. Para un calentamiento global de 3°C en 2100, las pérdidas por sequía podrían llegar a ser cinco veces mayores que en la actualidad, con el mayor aumento de pérdidas por sequía proyectado en las regiones mediterráneas. Esto tendrá sus consecuencias sobre la escorrentía, que se reducirá a lo largo del siglo XXI con un cambio entre -13% (RCP4.5) y -24% (RCP8.5), llegando en las cuencas del sur y sureste a reducciones de -20% (RCP4.5) y -35% (RCP8.5)⁵⁹. La reducción de la recarga de acuíferos en las próximas décadas replica el modelo territorial anterior: reducción de la tasa media de recarga en torno al 12%, y de hasta el 28% en algunas áreas del centro y sureste.

⁵⁸ <http://escenarios.adaptecca.es/>

⁵⁹ Datos contenidos en el informe CEDEX (2017), "Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España".

Por tanto, parece lógico pensar en prestar una mayor atención a las áreas con mayores problemas, y repensar y valorar adecuadamente las alternativas de intervención desde el punto de vista urbanístico, agrario (con una revisión de la política de regadíos y de gestión de los mismos y de las áreas de secano) y de instalación de actividades económicas consumidoras del recurso agua. Las regiones mediterráneas, pioneras históricamente, merecen una especial atención a la hora de poder extraer y extrapolar experiencia y prácticas⁶⁰. También son las que van a sufrir las peores consecuencias.

Las regiones más vulnerables en España se encuentran a lo largo de la costa mediterránea, debido sobre todo a las inundaciones relámpago o *flash floods*, como consecuencia de DANAs. Parece por tanto razonable considerar las inundaciones ocurridas en el pasado con influencia pluvial y que pueden volver a producirse en el futuro en estas mismas zonas. También desarrollar nuevos estudios y casos piloto en los que poder basar nuevas guías y recomendaciones.

Debido a la subida del nivel del mar, los eventos de período de retorno de 100 años podrían ocurrir con una frecuencia de una vez cada 10 años. Aunque la mayor cota de inundación en valor absoluto se da en la costa Atlántica, la costa mediterránea sufrirá los mayores aumentos de la cota de inundación y los impactos en el Mediterráneo serán mucho mayores. Las variaciones del nivel medio del mar y del oleaje, y el nuevo balance erosión-deposición asociado, son algunos de los factores modeladores de la zona litoral. Las playas y costas bajas del entorno de estuarios, flechas y cordones litorales, que encierran lagunas litorales y humedales (Albufera de Valencia, Laguna de Santa Pola, la Manga del Mar Menor, Delta del Ebro); playas confinadas de anchura y pendiente reducida (con ejemplos en Guipúzcoa, Vizcaya y Cantabria, o Golfo de Cádiz), más propensas a las inundaciones, son las que sufrirán más. También los acantilados blandos de Cantabria y el País Vasco (playa de Oyambre) o el Golfo de Cádiz presentan importantes tasas erosivas⁶¹.

5.3.1. El espacio urbano como centro de atención ante el riesgo de inundaciones

Es un hecho que las inundaciones se ven favorecidas por las amplias superficies impermeables de las ciudades, que impiden la infiltración y favorecen la escorrentía. Además, la localización de una parte sustancial de los espacios urbanos en la línea de costa los expone de forma especial a los efectos del ascenso del nivel del mar y los eventos extremos costeros.

Las actuaciones mediante las que afrontar los riesgos suelen ser post desastre, generalmente en la escala local, con el objetivo de hacer más resilientes las ciudades ante los efectos del Cambio Climático. El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) muestra

⁶⁰ Vid. el texto de Francisca Segura Beltrán, Carles Sanchis Ibor y Alfredo Ollero Ojeda "Restauración hidrogeomorfológica en ramblas y ríos semipermanentes" en este mismo volumen.

⁶¹ Vid. el texto de Miriam García Oliva, del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, "Impactos climáticos en costas" en este mismo volumen.

que los suelos urbanos (y urbanizables) están ampliamente expuestos incluso en los episodios de lluvias más frecuentes. Se observa que los daños más graves se producen cuando la precipitación supera los 60 mm de lluvia, causando desde corte de carreteras hasta daños en infraestructuras, construcciones e incluso pérdidas humanas. También se percibe que los efectos más graves se registran en los últimos años, aún con intensidades de lluvias similares.

La adaptación frente al riesgo de inundación se concibe como el conjunto de actuaciones vinculadas con la reducción de la vulnerabilidad de elementos expuestos al riesgo de inundación, tales como edificaciones, instalaciones o infraestructuras. La reducción del riesgo de desastres a través del desarrollo territorial sólo se puede abordar mitigando la amenaza, reduciendo la exposición o disminuyendo la vulnerabilidad, es decir, reduciendo la sensibilidad y aumentando la capacidad de adaptación. Los factores que tienen una mayor influencia sobre el índice de vulnerabilidad son la resiliencia constructiva y la exposición en el ambiente urbano construido⁶². La identificación de las “microcuencas” urbanas en las que se dividen los núcleos urbanos y la red de “canales” de escorrentía que discurren por las calles de estos ámbitos son una información muy valiosa para comprender el comportamiento de las aguas superficiales en situaciones de lluvias.

Los valores más bajos de capacidad adaptativa son de tipo social, por el pobre estado de conservación de las viviendas de familias de bajo ingreso, lo que también conduce a la necesidad de una adecuada política de rehabilitación urbana y estrategias de desarrollo urbano sostenible con objetivo de la calidad de vida suficiente y la lucha contra la exclusión social. Lo uno y lo otro nos conduce a la necesidad de una adecuada planificación del espacio urbano que contemple esta adaptación.

Para los fenómenos de inundación/erosión costera por efecto de la subida del nivel del mar, los municipios han de contemplar los aspectos subyacentes, similares a los de inundación fluvial, para la correcta distribución de usos y de clasificación del suelo. En estos casos, las medidas de actuación concretas (retroceso de la edificación y la ampliación del espacio libre en el frente costero) pueden resultar las de mayor impacto sobre la estructura urbana en las estrategias de reordenación del espacio litoral. Igualmente, las áreas urbanas afectadas por cauces identificados como Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) de origen costero deberán actualizarse con las proyecciones climáticas a futuro que orienten, con la mayor precisión posible, el área de penetración de los fenómenos costeros.

Por su parte, los núcleos habitados en contacto con cursos fluviales deberán contar en el futuro con información explícita de inundabilidad de la cuenca por acción del cambio climático, con el objeto de re-cartografiar adecuadamente sus zonas inundables (identificando población, infraestructura, actividades económicas, etc.); especialmente aquellos en el tramo final de la cuenca, donde no resultan tan fáciles o posibles las habituales medidas de intercepción y derivación de las aguas. En el ámbito urbano la medida principal

⁶² Vid. el texto de Estefanía Aroca Jiménez, José M. Bodoque, Juan A. García “Construcción y validación de índices integrados de vulnerabilidad socioeconómica en zonas afectadas por avenidas súbitas” en este mismo volumen.

ha sido la de desarrollar delimitaciones de suelo afectado por los riesgos, remitiendo estas áreas a figuras de planeamiento especial, bien áreas de actuación específicas o, en su caso, de planes especiales de reforma interior, donde se establezcan de forma pormenorizada las pautas de actuación adaptativas.

La consideración de los riesgos específicos del cambio climático en las figuras de planificación, como el caso que nos ocupa, obligará a reformular sin demora los reglamentos de planeamiento de las comunidades autónomas, y permitirá que el planeamiento municipal actualice sus determinaciones teniendo en consideración los impactos derivados del clima futuro. Sin embargo, el incremento e intensidad de las precipitaciones extremas o la propensión a sufrir eventos de inundación debido a la subida del nivel del mar ponen de relieve la necesidad de incrementar el verde urbano y la permeabilidad de los suelos, aspectos a tener en cuenta en las nuevas urbanizaciones y en los espacios de rehabilitación. La plantación de árboles, el desarrollo de parques y pequeños espacios libres urbanos en las áreas afectadas por ríos y costas, así como el uso de superficies pavimentadas que aumenten la permeabilidad del suelo, son estrategias necesarias para una mejor gestión municipal en un escenario de clima cambiante.

Respecto de la gestión de las inundaciones en espacios urbanos, con el objeto de contemplar las zonas inundables, el antecedente es la Ley del Senado del Estado de Florida, de 1094, *Peril of Flood*, que establecía la creación de las “Área de Acción para la Adaptación” urbana. Esta herramienta de gestión permite al planeamiento municipal acotar las áreas de intervención que requieren acciones de adaptación frente a las inundaciones, especialmente con acciones relacionadas con el aumento de la permeabilidad del suelo en la ciudad y la Infraestructura verde. Una Infraestructura verde horizontal pero también vertical, que ayude a regular la infiltración, la velocidad de escorrentía y la capacidad de recarga. El caso de Nueva York es especialmente ilustrativo en la integración de los impactos climáticos por subida del nivel del mar. Actualmente la ciudad está desarrollando la *Zoning for Coastal Flood Resiliency Planning for Resilient Neighborhoods* (2019), una ordenanza específica para contrarrestar los devastadores efectos del cambio climático en las áreas costeras del municipio, flexibilizando las estrictas normas urbanísticas⁶³.

El Plan Renhace también identifica algunas de las actuaciones llevadas a cabo en ciudades como: Berlín (con la presencia de humedales urbanos y superficies más permeables para absorber y almacenar agua durante las fuertes lluvias, como parques inundables y espacios verdes, evitando el incremento de caudal en las calles reduciendo la escorrentía superficial, y medias de control del crecimiento urbanístico de nuevos espacios); Copenhague (con la creación de jardines verticales y cuencas de retención verdes o *greenscaping* -construcción de jardines, techos y paredes verdes- para reducir la escorrentía superficial en el casco urbano, o la creación de espacios de almacenamiento de agua pluvial, también subterráneo, todo ello mediante la colaboración entre las diferentes administraciones); Rotterdam (con la creación

⁶³ Para un mayor detalle vid. Parejo Navajas, T. (2018). “Políticas de adaptación de la ciudad de Nueva York a la subida del nivel del mar: ejemplo de acción frente al cambio climático”. En Farinós, J. (Coord.) *Territorio y estados: elementos para la coordinación de las políticas de ordenación del territorio en el siglo XXI*, págs. 1135-1158. Valencia: Tirant lo Blanch.

de techos verdes o *Roof Farm*, jardines verticales y edificios flotantes, con una participación activa de la población); Vitoria (con la mejora de las funciones del hábitat en las áreas verdes existentes a través de intervenciones para la biodiversidad urbana y la mejora de la conservación de las especies nativas y mejora de la gestión del agua, con lo que se reduce la escorrentía superficial, así como la captación de aguas pluviales para su reutilización); o Alicante (con la creación de nuevos espacios verdes, parques inundables –como el Parque La Marjal- y las cubiertas vegetales)⁶⁴.

A nivel español se ha ido avanzando progresivamente en la integración del conocimiento y gestión del cambio climático en la normativa urbanística. En 2008, tras el primer PNACC de 2006 (al que ha sustituido el segundo de 2020, un año después de que se presentara la “Agenda Urbana Española”), la Red Española de Ciudades por el Clima publicaba la “Estrategia Local de Cambio Climático”. En 2012, el País Vasco era la primera autonomía que preparaba su “Manual de Planeamiento Urbanístico en Euskadi para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático”. Tres años después, en 2015, la FEMP hacía lo propio con sus “Medidas para la mitigación y la adaptación al cambio climático en el planeamiento urbanístico. Guía metodológica”. Ya en el año 2018, veía la luz “Adaptación al Cambio Climático de las Entidades Locales desde el Planeamiento Urbanístico” preparado por Navarra. Por su parte, Baleares, en 2019, marcaba el camino hacia la integración del cambio climático en la planificación urbana por vía legal, a través de la Ley de cambio climático y transición energética. El Gobierno de España, por su parte, acaba de aprobar la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, que se pretende suponga el espaldarazo definitivo para la integración del cambio climático en el planeamiento. La Ley contempla la integración de los riesgos derivados del cambio climático en la planificación y gestión de políticas sectoriales, como la hidrológica, la de costas, la territorial y urbanística, la de desarrollo urbano, la de edificación e infraestructuras del transporte, la de seguridad y dieta alimentarias, así como la de salud pública. Más en concreto, le dedica su art. “21. Consideración del cambio climático en la planificación y gestión territorial y urbanística, así como en las intervenciones en el medio urbano, en la edificación y en las infraestructuras del transporte”, del Título V: Medidas de adaptación a los efectos del cambio climático. La consideración de los riesgos específicos del cambio climático en las figuras de planificación, como el caso que nos ocupa, obligará a reformular sin demora los reglamentos de planeamiento de las comunidades autónomas, y permitirá que el planeamiento municipal actualice sus determinaciones teniendo en consideración los impactos derivados del clima futuro. Ello requerirá de la adecuada capacitación del personal administrativo adscrito a las unidades técnicas de planificación, como últimos gestores y garantes del planeamiento municipal, así como de la información y recursos suficientes.

⁶⁴ Para un mayor detalle vid. el texto de Jorge Olcina y Antonio Oliva Cañizares “Plan Vega Renhace: Una estrategia para la resiliencia territorial ante extremos atmosféricos naturales y para la adaptación al cambio climático” en este mismo volumen.

5.4. A modo de síntesis final: lecciones aprendidas y cuestiones abiertas de cara al futuro

Los territorios deben centrarse más en las actividades de prevención de riesgos que en las de respuesta como reacción a la catástrofe. Puede que la prevención tenga un coste significativo, pero vale la pena. Afortunadamente a día de hoy, aun cuando los efectos del cambio climático son más intensos y la presión antrópica más fuerte, suelen producirse menos daños que en el pasado. El riesgo no puede evitarse ni eliminarse por completo, sino que hay que aprender a convivir con él y saber gestionarlo. Ello exige una adecuada preparación. La mitigación y la prevención son un proceso que incluye toda una caja de herramientas y de medidas, que requieren no solo de recursos sino también de responsabilidades claras y bien coordinadas. De ahí la necesidad de implementar nuevas metodologías para la evaluación de riesgos, haciendo disponibles mapas y sistemas de observación, evaluación y escenarios (no solo en el largo sino también en el medio y, sobre todo, en el corto plazo), y una mejor participación ciudadana a partir de una nueva cultura y educación en esta materia.

Aunque sigue predominando un enfoque de arriba a abajo, la coordinación multinivel y la cooperación son muy importantes para la gestión del riesgo de desastres (GRD) y la adaptación al cambio climático (ACC). Se debe mejorar la coordinación intersectorial en todos los ámbitos de la gestión de riesgos y en la adaptación al cambio climático. De esta forma las políticas GRD y ACC se acercan claramente a la planificación territorial y urbanística, que normativamente ya queda obligada a considerar los riesgos en sus instrumentos. A nivel urbano, las autoridades deben prestar especial atención a las áreas donde se han construido edificios en el pasado y dónde poder hacerlo en el futuro. La prevención se basa en este conocimiento aplicado a la determinación de áreas urbanas y edificables. Las posibles soluciones pasan por la deslocalización gradual, los seguros y la rehabilitación urbana, en línea con el objetivo del “0 net land take” para el año 2050 de la UE.

A modo de propuestas y líneas de acción a tener en cuenta de cara al futuro, cabrá prestar especial atención a las siguientes:

A nivel de gestión y gobernanza, avanzar hacia una mayor coordinación que garantice una interpretación más integral del riesgo de forma realista y eficiente:

En especial para una gestión coordinada y contingente de los riesgos por sequías e inundaciones, garantizando la plena coordinación entre los diferentes instrumentos de planificación: planes hidrológicos de cuenca, planes especiales de sequía y planes de gestión del riesgo de inundación (el mayor y más importante riesgo actualmente, especialmente en las áreas urbanas). Desde el punto de vista de los instrumentos de planificación, junto a las normas de ordenación territorial, se han incorporado otras a la legislación española, no estrictamente territoriales o urbanísticas, pero de gran relevancia para la reducción del riesgo de inundaciones que deben tenerse en cuenta en los procesos de planificación territorial.

La transversalidad de los factores que intervienen en el riesgo de inundación y en el reto de una adecuada gestión de la costa y el espacio marino, así como el actual reparto de competencias entre las distintas administraciones, exige un especial grado de coordinación y compromiso entre ellas, mejorando la coordinación entre políticas sectoriales mediante un conjunto de actuaciones que integran aspectos hidrogeológicos, socio-económicos y de emergencia climática con objeto de alcanzar la máxima coherencia en la aplicación de medidas de adaptación frente al cambio climático con una planificación más integral.

Se ha hecho referencia al modelo seguido por la región francesa de Nueva Aquitania, pero también disponemos de algunas iniciativas a nivel nacional. Un ejemplo es el Plan Renhace de la Vega Baja del Segura en la provincia de Alicante (<https://presidencia.gva.es/va/web/vega-renhace>). Otro es el de la Estrategia Ebro Resilience –(www.ebroresilience.com) que exige la coordinación entre tres CCAA. Todo ello nos habla de la necesidad de seguir trabajando en la generación de instrumentos de gobernanza y colaboración que faciliten la coordinación institucional (coordinación de políticas territoriales de las Comunidades Autónomas y la Administración General del Estado). En este sentido parece conveniente activar los trabajos en esta materia dentro de una nueva Comisión/Conferencia Sectorial de Ordenación del Territorio, o de Planificación Territorial Sostenible si se prefiere, que recoja la escasa herencia de la conferencia Sectorial actual de Infraestructuras y Ordenación del Territorio, que junto a responsables de planificación territorial de la escala regional puede integrar a expertos y científicos.

A nivel de participación y gobernanza democrática:

La participación de todos los actores es fundamental para lograr la gobernanza del riesgo. (público en general -ciudadanos y organizaciones de la sociedad civil- y del sector privado -desarrolladores y propietarios de bienes raíces-). En este sentido, la educación sobre la necesidad de adaptación al cambio climático se ha demostrado muy útil. La información y la participación aumenta la aceptación social de las medidas; igualmente, la colaboración con otras entidades aumenta la eficiencia de la gestión.

La reducción del riesgo de desastres se apoya y se refuerza preparándose ante él, a través de la observación, la alerta temprana, la comunicación, la coordinación y la educación con criterios adaptativos (tanto de técnicos y responsables como de la ciudadanía). Ello implica identificar y formar a los actores implicados, promoviendo una nueva cultura del riesgo. En este sentido, se viene operando un cambio en la gobernanza de la gestión del riesgo de inundaciones (GRI), evolucionando desde los tradicionales enfoques de “arriba a abajo”, en los que prima una jerarquía tecnocrática, hacia un renovado enfoque de “abajo a arriba”, con estrategias más inclusivas y la necesaria implicación de los distintos actores y agentes territoriales (*stakeholders*). Para ello se anima a seguir desarrollando estrategias de divulgación, sensibilización y de educación, para enseñar a participar, a hacer entender para qué sirve participar y para qué sirve planificar, y sobre las consecuencias de no hacerlo, por los efectos e impactos que supondría no hacerlo. La implicación y participación de la

población resultan especialmente críticas en todas las fases del proyecto. El efecto demostración es muy útil, tanto para animar a la participación como para legitimar por resultados la planificación y la nueva gestión del territorio frente a los riesgos naturales.

Sin embargo, en este campo, como también sucede en otros, la costumbre de participar y las relaciones entre los *stakeholders* son muy escasas y débiles, con el predominio de algunos actores centrales que además suelen ser habitualmente los más poderosos desde un punto de vista financiero e institucional. Estos suelen centrar la atención y tienen mucho mayor peso a la hora de desarrollar las diferentes estrategias previstas. Consecuentemente, el potencial para abordar acciones y resolver conflictos de forma conjunta y colaborativa se ve claramente disminuido. Por este motivo, resulta necesaria una línea de acción desde el ámbito de la educación de la sociedad. Son prometedores en este sentido los avances que en materia de gobernanza del agua se vienen produciendo en nuestro país, gracias a iniciativas como la de la Fundación Nueva Cultura del Agua.

A esto respecto, existen notables diferencias entre los países del Norte y los del Sur de Europa, en favor de los primeros, que llevan más de una década de ventaja en la concienciación y toma de medidas para afrontar los efectos adversos del calentamiento global. La educación para el riesgo sigue siendo a día de hoy una medida esencial y escasamente desarrollada en España. De ahí la conveniencia de ir desarrollando progresivamente una estrategia estatal de refuerzo de la educación (académica –reglada y no-, no académica y cívica) en este sentido.

De acuerdo con la Ley 17/2015 de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil, corresponde a la Escuela Nacional de Protección Civil (integrada en la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior) la formación especializada y de mandos de alto nivel del personal de Protección Civil de la Administración General del Estado. También se cuenta con planes de comunicación y campañas de educación en el riesgo, desarrollados por la Dirección General del Agua y las diferentes Demarcaciones Hidrográficas, para la preparación de los planes de gestión del riesgo de inundación (PGRI). Sin embargo, estas actividades son puntuales, sin continuidad y dirigidas a público adulto especializado. Dotarlas de periodicidad y ampliar su público destinatario puede ayudar a mejorar su efectividad a medio plazo.

A nivel de información de base, datos y cartografías permanentemente actualizados:

Deben redoblarse esfuerzos para poder disponer de datos bien actualizados a la hora de preparar los escenarios climáticos. También reforzar la observación meteorológica para la alerta temprana y los servicios de avisos de fenómenos meteorológicos y climáticos adversos, así como desarrollar indicadores y seguir con la definición de Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) (más habituales en los espacios urbanos donde los impactos sociales y económicos son muy claros). La actualización de los datos debe ser permanente y ajustarse a las escalas de detalle necesarias (especialmente inframunicipal).

En este sentido cabe señalar:

- Las iniciativas CORDEX y EURO-CORDEX, del Programa Mundial de Investigación sobre el Clima (PMIC), proporcionan Modelos de Circulación Global (MCG) regionalizados, tomando como referencia "Fifth Assessment Report (AR5)" del año 2014. Se dispone de una interfaz gráfica de descarga de datos para la región europea, aunque con unos tamaños de cuadrícula de unos 12 km.
- El cumplimiento de la Directiva CE 2007/60 de evaluación y gestión de los riesgos de inundación ha supuesto la elaboración de una cartografía estatal de riesgo de inundación. El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas inundables (SNCZI) permite tener una base cartográfica común en todas las regiones españolas para su uso en actuaciones territoriales. La realización y gestión de esta cartografía ha correspondido a las Demarcaciones Hidrográficas. La jerarquía jurídico-administrativa obliga al manejo prioritario de los mapas del SNCZI en todo el territorio español, salvo que un área no esté cartografiada en dicho servidor; en ese caso se pueden manejar los mapas elaborados por cada comunidad autónoma, si los hay.
- En este sentido cabe apuntar a un progresivo proceso de armonización entre las cartografías internacionales, la del SNCZI y las autonómicas, e incluso también las locales, cuando las haya. En cuanto a las cartografías de riesgo, a fin de asegurar su calidad y armonización, se ha sugerido la elaboración de un reglamento técnico para la elaboración de cartografía de riesgos naturales, en cumplimiento de lo establecido en el art. 22 de la Ley del Suelo de 2015. También facilitar el "*downscaling*", de forma que se hagan más específicas y puedan complementar las de orden superior y rellenar algunos de sus posibles vacíos e incongruencias. En este sentido la experiencia de los observatorios de otra naturaleza, como los territoriales, pueden resultar de ayuda e inspiración.
- En cuanto a la labor de prospectiva, desde las unidades de observación responsables cabe pensar en la actualización de las proyecciones de cambio climático regionalizadas para España, utilizando los escenarios y modelos generales empleados en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6) y ponerlos a libre disposición de cualquier usuario. Asimismo, el visor de escenarios de cambio climático disponible en la plataforma AdapteCCa⁶⁵ deberá estar operativo y actualizado. Hay que pensar en el carácter vinculante que estas cartografías tienen desde el punto de vista de las indemnizaciones de las aseguradoras y a la hora de elaborar los futuros instrumentos de ordenación territorial y de planeamiento urbanístico.
- La colaboración público-privada es especialmente factible en tema de riesgos. El sector privado y de seguros tiene un papel importante como fuente de datos y de cartografías de riesgo que otorgan derechos de indemnización. Pueden ser tomados

⁶⁵ Plataforma de intercambio sobre impactos y adaptación AdapteCCa: < <https://www.adaptecca.es/>> Visor de escenarios de cambio climático de AdapteCCa: <<http://escenarios.adaptecca.es/>>.

en cuenta como referencia en la planificación territorial del litoral y de las áreas próximas a los cursos de los ríos y embalses.

- Un mejor análisis de vulnerabilidad, que es función de la exposición, de la susceptibilidad (que se puede retocar con técnicas y programación de actuaciones y proyectos) y de la capacidad de adaptación (que exige planificación y ordenación adecuada), requiere trabajar de forma coordinada y continuada para poder comparar el antes y el después. En este sentido, se echa en falta una mayor evaluación de los resultados obtenidos (Evaluación de Impacto) de las medidas, un aspecto que deberá mejorar.

A nivel de instrumentos de planificación:

El cumplimiento efectivo de las indicaciones de estas leyes autonómicas de ordenación del territorio y urbanismo (estas últimas adaptadas a la Ley del Suelo estatal de 2015) o de los planes territoriales (integrales o sectoriales) elaborados en las dos últimas décadas, debería suponer una reducción progresiva de la vulnerabilidad y exposición ante el peligro de inundaciones. Sin olvidar que el escenario climático futuro, con el previsible incremento de episodios de lluvias intensas, puede condicionar modificaciones en estas normativas y planes; en consonancia con la de otras leyes que les afectan⁶⁶. Por tanto, conviene estar atento a su revisión y actualización, lo que implica una necesaria mejora en los procedimientos y la incorporación de la práctica de la evaluación continua en este tipo de instrumentos.

La planificación urbana en el futuro debe verse acompañada de los correspondientes planes de riesgo. Las estrategias de gestión del riesgo de desastres (GRD) y adaptación al cambio climático (ACC) deben integrarse en los instrumentos de planificación territorial y urbana, para mejorar su eficacia y utilidad. Dicho de otro modo, los impactos climáticos de ríos y costas deben quedar integrados dentro del planeamiento urbano, especialmente en aquellos municipios litorales y aquellos situados en las cercanías de los cursos fluviales; introduciendo las variaciones necesarias en las normas urbanísticas que permitan la adecuación de la edificación a las condiciones de impacto derivadas del cambio climático en ríos y costas.

Ya se están llevado a cabo casos piloto de adaptación, proyectos concretos sobre los que poder basar los futuros cursos de acción. Lo mismo cabe esperar de algunos nuevos instrumentos de ordenación del territorio y de planeamiento urbanístico; como banco de buenas prácticas e intercambio de experiencias. Eso solo sería posible en el contexto español mediante la imprescindible colaboración y acuerdo de las administraciones General del Estado, responsable de la posible iniciativa, y las Autonómicas e insulares implicadas e interesadas en este ejercicio. Podría ser el necesario punto de encuentro y de arranque para una nueva colaboración del bloque constitucional en esta materia, lo que puede ayudar a recuperar institucionalmente los foros y figuras formales de coordinación y cooperación (como las ya citadas conferencias sectoriales en esta materia). Así como para tender mejores

⁶⁶ Vid. el texto de Javier Sanz Larruga "Bases jurídicas y normativas sobre la gestión de impactos climáticos en ríos y costas" en este mismo volumen.

puentes entre las Demarcaciones y los departamentos autonómicos responsables de la ordenación del territorio, de forma que se contribuyera a solventar el problema de los continuados retrasos de los informes sectoriales necesarios previos a la aprobación del plan.

A nivel de ríos y cuencas, actuar en clave de conservación:

Se apuesta por mantener en un estado lo más natural posible la dinámica hidráulica fluvial, incluyendo la vegetación de ribera, como garante de una gestión adecuada frente a inundaciones repentinas y el mantenimiento de la biodiversidad. También por una gestión particularizada entre embalses según cuenca y parte del curso (cabecera, medio o bajo).

Se han producido multitud de impactos a lo largo de la red fluvial: pérdida de recurso edáfico, sedimentación de embalses, estado ecológico de los ríos, calidad del agua, pérdida de conectividad del transporte entre diferentes sistemas. Se hace necesario un enfoque integral a la hora de evaluar los procesos erosivos y sedimentarios que permitan responder a preguntas clave relacionadas con la gestión de nuestros ríos: ¿dónde?, ¿cuánto?, ¿cómo y a qué responde?, ¿cuánto tiempo queda?, ¿con qué incertidumbre?⁶⁷.

También una visión de conjunto entre el funcionamiento del río y de la costa, mejorando la coordinación de las distintas administraciones. Algunas de las investigaciones llevadas a cabo por ejemplo sobre la dinámica del sistema deltaico del Guadalfeo, demuestra que esta se rige por la aportación de sedimentos del río durante eventos intensos. Estas aportaciones se distribuyen posteriormente a lo largo de la costa debido a la direccionalidad del viento y el oleaje dominante. Una muestra de la necesidad de poder contar con estos sedimentos desde el embalse aguas arriba hasta el tramo aguas abajo, para evitar la erosión y que sea el propio mar el que en su deriva litoral los deposite a lo largo de la costa de acuerdo con el sistema de oleaje natural.

A nivel de costas y medio marino, recuperar la idea de una estrategia estatal de gestión integrada de zonas costeras (GIZC), primando las SbN:

Queda abierto el camino para ir definiendo nuevas iniciativas más eficientes de adaptación en la costa y el mar, promoviendo el papel de la Infraestructura verde y azul y las SbN para la estabilización y la protección de la línea de costa frente a los riesgos climáticos, incorporando criterios de adaptación al cambio climático a la planificación y la gestión de las áreas marinas protegidas, y fomentando la toma en consideración de los riesgos costeros asociados al clima en la planificación territorial, de infraestructuras y la urbanística en zonas de costa.

Respecto de lo último, habrá que seguir promoviendo el estudio y propuesta de cambios en el marco normativo para facilitar la adaptación en las costas y el mar, que permitan por ejemplo flexibilizar el otorgamiento de títulos de ocupación, limitando o reduciendo plazos, o

⁶⁷ En línea con lo planteado por Agustín Millares-Valenzuela, Marina Cantalejo-Ibáñez y Jorge Pedro Galve-Arnedo "Respuesta erosiva y sedimentaria al cambio climático y global en cuencas mediterráneas de montaña" en este mismo volumen.

agilizando su revisión por causa del cambio climático, eliminando barreras para la adaptación. Los riesgos formarán parte de la planificación que afecta a los territorios costeros, como los planes de ordenación territorial, los planes generales de ordenación urbana o los planes de ordenación del espacio marítimo.

En este sentido debería recuperarse la iniciativa de la Estrategia Española (o mejor Estatal) de Gestión Integrada de Zonas Costeras, aprendiendo de y corriendo los errores del pasado. Desde el punto de vista de la gestión, y como continuación a los trabajos de evaluación de riesgos, se deberá favorecer el desarrollo de iniciativas de adaptación en el DPMT y espacios conexos, otorgando un importante papel a una Infraestructura verde y azul, que verdaderamente responda a su innato carácter conector, y a las SbN: restauraciones ambientales de espacios naturales costeros (playas, sistemas dunares y marismas); demolición de elementos artificiales vulnerables; intervenciones para aumentar la resiliencia de infraestructuras en riesgo; reubicación de edificaciones o cambios en los planes urbanísticos que eviten la construcción de instalaciones en zonas inadecuadas.

A nivel de ciudad y espacio urbano, información, implicación ciudadana y planificación actualizada:

Junto con las medidas generales ligadas a la política y planificación públicas, especialmente en el ámbito urbano se ha abierto paso la conciencia de la necesidad de convivir con los riesgos naturales asociados a fenómenos extremos y de recurrir a la autoprotección, como conjunto de medidas complementarias a las medidas estructurales de gran escala tradicionales, que no eliminan el riesgo por completo. Esta autoprotección pasa a formar parte de los planes de gestión de riesgo de inundación⁶⁸ y seguir con la definición de Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) en los espacios urbanos.

La adaptación frente al riesgo de inundación se concibe como el conjunto de actuaciones vinculadas a la reducción de la vulnerabilidad de elementos expuestos al riesgo de inundación, tales como edificaciones, instalaciones o infraestructuras. En este sentido, cabe continuar con sendas iniciativas y trabajos iniciados por la Dirección General del Agua. Por un lado, en el marco del primer ciclo de implantación de la Directiva 2007/60 de evaluación y gestión de los riesgos de inundación, la Dirección General del Agua, en colaboración con el Consorcio de Compensación de Seguros, publicaba en 2017 la *“Guía para la Reducción de la Vulnerabilidad de Edificios frente a Inundaciones”*. Dos años más tarde, en 2019, hacía lo propio con otras más particularizadas sobre sistemas urbanos e infraestructuras, construcción y rehabilitación en zonas inundables, drenaje sostenible, y para explotaciones agrícolas y ganaderas. Más recientemente, en 2020, mediante el Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático (PLAN PIMA ADAPTA), se han puesto en marcha “Programas Piloto de Adaptación al Riesgo de Inundación y de Fomento de la Consciencia del Riesgo de Inundación en diversos sectores económicos” para cada uno de los tres sectores

⁶⁸ Vid. los planes de gestión del riesgo de inundación del MITERD: <<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/planes-gestion-riesgos-inundacion/default.aspx>>.

económicos: agricultura y ganadería, instalaciones e industrias, equipamientos urbanos y edificaciones. Los planes PIMA constituyen una herramienta para apoyar la consecución de los objetivos del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030) utilizando recursos económicos procedentes de las subastas de derechos de emisión y canalizándolos hacia proyectos de adaptación.

A la hora de materializar las diferentes medidas de autoprotección, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, aprobó a finales de 2020, el Real Decreto 1158/2020, de 22 de diciembre, por el que se regula la concesión directa de subvenciones para el desarrollo de planes piloto de fomento de la adaptación del riesgo de inundación de las edificaciones, equipamientos e instalaciones o explotaciones existentes en los términos municipales de Los Alcázares, San Javier, Torre-Pacheco, Cartagena y San Pedro del Pinatar (Murcia). ayudas son proporcionales a los daños ocasionados.

Finalmente, entre las medidas las medidas de adaptación al cambio climático también se encuentran la mejora en la eficiencia en el uso del agua y la integración de la energía solar fotovoltaica en los esquemas de transporte del recurso, desalación, reutilización de aguas regeneradas en la agricultura y en la regeneración y reutilización de agua para aumentar la disponibilidad de recursos a los usuarios del sistema.

6. Bibliografía

- [1] "Resumen para responsables de políticas", en: Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante. s.l.: IPCC, 2019.
- [2] A. Fekete, "Validation of a social vulnerability index in context to river floods in Germany," *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 393–403, 2009.
- [3] Abel, N., Gorrdard, R., Harman, B., Leitch, A., Langridge, J., Ryan, A., Heyenga, S. (2011). "Sea level rise, coastal development and planned retreat: Analytical framework, governance principles and an Australian case study", *Environmental Science and Policy*, 14 (3): 279-288.
- [4] Adaptación al riesgo de inundación. MITERD:
<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/planes-gestion-riesgos-inundacion/Adaptacion-al-riesgo-de-inundacion.aspx>
- [5] AEMET (2019b). "Proyecciones climática para el siglo XXI en España". Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat [Última consulta: 29/12/2020] [En Línea].
- [6] Agenda Urbana Española: <https://www.aue.gob.es/>
- [7] Aguirre i Font, J. M. (2019): "La resiliencia del territorio al cambio climático: retos y herramientas jurídicas desde el planeamiento urbanístico", *Revista Catalana de Dret Ambiental*, Vol. 10, N° 2
- [8] Araos, M., Berrang-Ford, L., Ford, J. D., Austin, S. E., Biesbroek, R., Lesnikowski, A. (2016). "Climate change adaptation planning in large cities: A systematic global assessment", *Environmental Science & Policy*, 66: 375-382.
- [9] Arroyo Yanes, L. M. (2015): "El tratamiento del cambio climático en la legislación de costas", en *El litoral de Andalucía. Norma y naturaleza*, (Eds.) Rodríguez Vidal, J. y Núñez Lozano, M. C., Universidad de Huelva, Huelva, pp. 227-253
- [10] Arroyo Yanes, L. M. (2016): "La conformación de un marco normativo para hacer frente a los efectos adversos del cambio climático en el litoral", en *Estudios Jurídicos sobre el Litoral*, (Dir.) Núñez Lozano, M. C., Tirant lo Blanch, Valencia, pp. 409-450
- [11] Avendaño Salas, C., Montero, E., Cobo, R., Gómez, J. L. 1997. Sediment yield at Spanish reservoirs and its relationship with the drainage basin area. In *Dix-neuvieme Congrès des Grands Barrages* (pp. 863–874). Florence: Commission Internationale De Grands Barrages.

- [12] Ayala-Carcedo, F. J. (2000): "La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, nº 30 (monográfico sobre "Riesgos Naturales"), 37-49.
- [13] Ayala-Carcedo, F. J. (2002): "El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis del caso español y sus alternativas". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, nº 33, 79-92.
- [14] Ballarín, D. & Mora, D. (2018). "Evaluación del estado hidro-geomorfológico en los ríos efímeros de la CHJ". Confederación Hidrográfica del Júcar.
- [15] Ballesteros-Cánovas, J.A.; Sanchez-Silva, M.; Bodoque, J.M.; Díez-Herrero, A. (2013): An example of integrated approach to flood risk management: the case of Navaluenga (Central Spain). *Water Resources Management*, 27 (8), 3051-3069. DOI 10.1007/s11269-013-0332-1.
- [16] Barrera-Escoda, A., & Llasat, M. (2015). "Evolving flood patterns in a mediterranean region (1301–2012) and climatic factors—the case of Catalonia". *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 465-483.
- [17] Batalla, R. J. (2003). "Sediment deficit in rivers caused by dams and instream gravel mining. A review with examples from NE Spain". *Cuaternario y Geomorfología*, 2003, Vol.17, 2,79-91.
- [18] Batalla, R. J., Vericat, D. 2011. An appraisal of the contemporary sediment yield in the Ebro basin. *Journal of Soils and Sediments*, 11(6), 1070.
- [19] Belando, M.D., Bernardeau-Esteller, J., García-Muñoz, R., Ramos-Segura, A., Santos-Echeandía, J., García-Moreno, P., Carreño, F., Ruiz, J.M., (2017). Evaluación del estado de conservación de las praderas de *Cymodocea nodosa* en la laguna costera del Mar Menor. 2014-2016. Informe del Instituto Español de Oceanografía y la Asociación de Naturalistas del Sureste. Murcia. 157p.
- [20] Benito, G. y Díez-Herrero, A. (2015): Palaeoflood Hydrology: Reconstructing Rare Events and Extreme Flood Discharges. In: Paolo Paron and Giuliano Di Baldassarre (Eds.), *Hydro-Meteorological Hazards, Risks, and Disasters*. Hazards and Disasters Series (John F. Shroder, Series Editor), Chapter 3, pp. 65-104, Elsevier, Amsterdam (Netherlands).
- [21] Benito, G., Barriendos, M., Llasat, C., Machado, M.J., Thorndycraft, V.R. (2005). Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático". En: Moreno, J.M. (Ed.), *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 527-548.
- [22] Benito, G., Rico, M.T., Sánchez-Moya, M.T., Sopeña, A., Thorndycraft, V. Díez-Herrero, A. y Perucha, M.A. (2016): Registro de paleoinundaciones en el desfiladero de los

- Gaitanes y su implicación en la evaluación de la seguridad de las presas del alto Guadalhorce (Málaga). En: Duran, J.J., Montes, M., Robador, A. y Salazar, A. (Eds.), *Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Geología y Geofísica nº 5, 291-298, Madrid, 766 pp.
- [23] Benito, G., Thorndycraft, V. R., Rico, M., Sánchez-Moya, Y., & Sopeña, A. (2008). "Palaeoflood and floodplain records from Spain: Evidence for long-term climate variability and environmental changes". *Geomorphology*, 101(1-2), 68-77.
- [24] Benito, G.; Rico, M.; Díez Herrero, A.; Sánchez-Moya, Y.; Sopeña, A. y Thorndycraft, V. (2004a): Hidrología de paleocrecidas aplicada al cálculo de la Avenida de Diseño y Avenida Máxima de presas. *VI Congreso Geológico de España*, Zaragoza 12-15 de julio de 2004. Sociedad Geológica de España.
- [25] Benito, G.; Rico, M.; Díez Herrero, A.; Sánchez-Moya, Y.; Sopeña, A.; y Thorndycraft, V.R. (2004b): Hidrología de paleocrecidas y seguridad de presas. En: Benito, G. y Díez Herrero, A. (Eds.). *Riesgos Naturales y Antrópicos en Geomorfología*. VIII Reunión Nacional de Geomorfología (Vol. II), 89-98. Sociedad Española de Geomorfología y CSIC, 543 págs., Madrid.
- [26] Benito, G.; Rico, M.; Thorndycraft, V.R.; Sánchez-Moya, Y; Sopeña, A.; Díez Herrero, A.; Jiménez, A. (2006): Palaeoflood records applied to assess dam safety in SE Spain. In: Ferreira, R., Alves, E., Leal, J., Cardoso, A. (eds.), *River Flow 2006*, Taylor & Francis Group, London, 2113-2120.
- [27] Bergillos, R. J., Ortega-Sánchez, M. (2017). Assessing and mitigating the landscape effects of river damming on the Guadalfeo River delta, southern Spain. *Landscape and Urban Planning*, 165, 117-129.
- [28] Bergillos, R. J., Rodríguez-Delgado, C., Millares, A., Ortega-Sánchez, M., Losada, M. A. (2016). Impact of river regulation on a Mediterranean delta: Assessment of managed versus unmanaged scenarios. *Water Resources Research*, 52(7), 5132-5148.
- [29] Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Adamovic, M., Guenther, S., Mentaschi, L. and De Roo, A. (2018). Impact of a changing climate, land use, and water usage on Europe's water resources. JRC110927.
- [30] BOCG (2020). Proyecto de Ley de cambio climático y transición energética. Boletín Oficial de las Cortes Generales, Congreso de los Diputados, 29 de mayo de 2020, Núm. 19-1.
- [31] Bodin, Ö., & Crona, B. I. (2009). The role of social networks in natural resource governance: What relational patterns make a difference? *Global Environmental Change*, 19(3), 366-374.
- [32] Bodoque, J.M., Amérigo, M., Díez-Herrero, A., García, J.A., Cortés, B., Ballesteros-Cánovas, J.A., Olcina, J. (2016). Improvement of resilience of urban areas by

- integrating social perception in flash-flood risk management. *Journal of Hydrology*, 541(A), 665-676.
- [33] Bodoque, J.M., Ballesteros-Cánovas, J.A., Stoffel, M. (2020). An application-oriented protocol for flood frequency analysis based on botanical evidence. *Journal of Hydrology*, 590, 125242
- [34] Bombino, G., Boix-Fayos, C., Cataldo, M. F., D'Agostino, D., Denisi, P., de Vente, J., Zema, D. A. 2020. A modified Catchment Connectivity Index for applications in semi-arid torrents of the Mediterranean environment. *River Research and Applications* 36(5), 735-748.
- [35] Borselli, L., Cassi, P., Torri, D. 2008. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment. *Catena* 75(3), 268–277.
- [36] Bunte, K., Abt, S. R. 2001. Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel-and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-74. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 428 p., 74.
- [37] Burriel, E .L. (2008): "La "década prodigiosa" del urbanismo español (1997-2006)". *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, vol. XII, núm. 270 (64). <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-270/sn-270/sn-270-64.htm>.]
- [38] C. E. Kontokosta and A. Malik, "The Resilience to Emergencies and Disasters Index: Applying big data to benchmark and validate neighborhood resilience capacity," *Sustain. Cities Soc.*, 2018.
- [39] C. Pérez, Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS. 2008.
- [40] Calle, M. (2018). "Morphosedimentary dynamics of ephemeral rivers affected by gravel mining: GIS mapping and geomorphic change detection". Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 212, pp. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/55964/1/T41180.pdf>
- [41] Calle, M., Alho, P., & Benito, G. (2017). "Channel dynamics and geomorphic resilience in an ephemeral mediterranean river affected by gravel mining". *Geomorphology*, 285, 333-346.
- [42] Calvo García-Tornel, F. (2001): *Sociedades y territorios en riesgo*. Barcelona, Ediciones del Serbal, Colección "La Estrella Polar" nº 31, Barcelona, 186 p.
- [43] Camarasa-Belmonte, A. M. (2020). "Flash-flooding of ephemeral streams in the context of climate change". *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 47. <http://doi.org/10.18172/cig.4838>

- [44] Camarasa-Belmonte, A. M., & Segura-Beltran, F. S. (2001). "Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain". *Catena*, 45(3), 229-249.
- [45] Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., Roo, De A. and Feyen, L. (2020). Global warming and drought impacts in the EU. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/597045>
- [46] Cantalejo M., Millares A., Cobos M., Baquerizo, A., Mateos R.M., Galve J.P., Luque J.A., Reyes C. 2021. Informe del GT3: Desarrollo de herramientas de gestión basadas en el estudio integrado de la dinámica fluvial y costera. Informe técnico Proyecto RISKCOAST 20 p.
- [47] Cantalice, J. R. B., Cunha Filho, M., Stosic, B. D., Piscocoya, V. C., Guerra, S. M., Singh, V. P. 2013. Relationship between bedload and suspended sediment in the sand-bed Exu River, in the semi-arid region of Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, 58(8), 1789–1802.
- [48] CAPFLO. Local resilience capacity building for flood mitigation: https://blogs.uab.cat/capflo/files/2019/10/CAPFLO_espa%c3%b1ol-web-1.pdf
- [49] Cavalli, M., Trevisani, S., Comiti, F., Marchi, L. 2013. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology* 188, 31–41.
- [50] CEDEX (2012). Efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua.
- [51] CEDEX (2017) Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España.
- [52] CEDEX, «Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España,» 2021.
- [53] CEDEX, 2012. Efectos potenciales del Cambio Climático en las Demandas de agua y Estrategias de Adaptación. Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX.
- [54] CEDEX, 2017. Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España. Centro de Estudios Hidrográficos, CEDEX.
- [55] Cendrero, A., Sánchez-Arcilla, A. y Zazo, C. IMPACTOS SOBRE LAS ZONAS COSTERAS. Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. 2005.
- [56] City of Fort Lauderdale (2015). City of Fort Lauderdale Comprehensive Plan. Accesible en: <https://www.fortlauderdale.gov/departments/sustainable-development/urban-design-and-planning/comprehensive-plan>
- [57] City of New York (2019). Zoning for Coastal Flood Resiliency Planning for Resilient Neighborhoods. New York Department of City Planning. NYC.

- [58] Consorcio de Compensación de Seguros (2017): *Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones*. Madrid, MAGRAMA, MINECO y Consorcio de Compensación de Seguros:
<https://www.conorsegurosdigital.com/es/numero-07/portada/guia-para-la-reduccion-de-la-vulnerabilidad-de-los-edificios-frente-a-las-inundaciones>
- [59] Coppus, R., Imeson, A. C. 2002. Extreme events controlling erosion and sediment transport in a semi-arid sub-Andean valley. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(13), 1365–1375.
- [60] Dai, L.; Romana García, M.; Díez Herrero, A. (2020): Estimación económica de daños potenciales sobre infraestructuras de transporte por inundaciones en el tramo Toro-Zamora. En: López Ortiz, M.I. y Melgarejo Moreno, J. (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*. 1257-1266. Editorial Universitat d'Alacant, Alacant, 1329 pp.
- [61] Datry, T., Bonada, N., & Boulton, A. J. (2017). "General introduction". In T. Datry, N. Bonada & A. Boulton (Eds.), "Intermittent rivers and ephemeral streams", 1-20, Academic Press. Doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803835-2.00001-2>.
- [62] Dawdy, D.R., Griffis, V.W., Gupta, V.K. (2012): Regional Flood-Frequency Analysis: How We Got Here and Where We Are Going. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 953-
- [63] Díaz-Redondo, M., Molina, B., Cortés, F.M.; Álvarez-Rodríguez, J. (2020). Study of Biogeomorphic Trajectories as Baseline for Process-Based River Restoration in a Large River-Floodplain System: the Duero River (Spain). *AGU (American Geophysical Union) FALL MEETING 2020*, 7 - 11 de diciembre de 2020
- [64] Díez Herrero, A. (2001-2003): *Geomorfología e Hidrología fluvial del río Alberche. Modelos y SIG para la gestión de riberas*. Serie Tesis Doctorales nº 2. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España (Ministerio de Ciencia y Tecnología), Madrid, 587 pp.+ anexo + CD-ROM.
- [65] Díez Herrero, A. (2012): En: Sánchez, N. (Coord.), GT-17. Riesgos ambientales: Su gestión en un mundo globalizado. Documento preliminar del grupo de trabajo. XI *Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA 2012)*, Madrid del 29 de noviembre de 2012. 22 pp.
- [66] Díez Herrero, A. (2018): Capítulo 6. Mapas de peligrosidad y riesgo por inundaciones: Implicaciones técnicas y jurídicas. En: Arana García, E. (Dtor.) y Conde Antequera, J. Garrido Manrique, J. Navarro Ortega, A. (Coords.), *Riesgos naturales y derecho: una perspectiva interdisciplinar*, 165-201. Editorial Dykinson, Madrid, 477 pp.
- [67] Díez Herrero, A. y Vegas Salamanca, J. (2011): De roca a roca. Descubre el patrimonio geológico de la ciudad de Segovia. Concejalía de Turismo, Ayuntamiento de Segovia, Segovia, 95 pp.

- [68] Díez Herrero, A., Martín Moreno, C., Sacristán Arroyo, N., Vicente Rodado, F. (2020b): A todo riesgo XIV. Convivir con los desastres geológicos cotidianos. Guion de la excursión científico-divulgativa para la educación en riesgos geológicos celebrada en el marco de la Semana de la Ciencia de Castilla y León 2020. IGME y Segovia Educa en Verde, Madrid-Segovia, 76 pp.
- [69] Díez Herrero, A., Sacristán Arroyo, N., González Álvaro, S., Meixoeiro Quiroga, J., Revuelta Sanz, J., Martínez Higuera, A., Fernández Luna, D., Arroyo Salomón, M.I. e Iglesias Moreno, J. (en revisión): Educación ambiental con patrimonio geológico: algunas experiencias prácticas. De Re Metallica, número monográfico sobre Patrimonio Geológico, en prensa.
- [70] Díez Herrero, A.; Díez Marcelo, P.; Vegas Salamanca, J.; Hernández Ruiz, M.; Cabrera Ferrero, A. (2019): VideoGEOs. Practicando Geología usando el videojuego Minecraft. VideoGEOs. Practicing Geology using Minecraft video game. En: ROS FERRÉ, R.M. (Ed.). *Ciencia en Acción 20. Libro de Actas*, pág. 156. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Fundació Princesa de Girona, Fundación Lilly, Instituto de Ciencias Matemáticas, Real Sociedad Española de Física, Real Sociedad Española de Química, Sociedad Española de Astronomía, Sociedad Geológica de España, Universidad Nacional de Educación a Distancia. Edita: Albedo Fulldome, S.L., Alcoi (Alacant), 367 pp. ISBN: 978-84-15771-74-6.
- [71] Díez Herrero, A.; Hernández Ruiz, M.; Díez Marcelo, P.; Carrera Torres, C. (2020a): Programa de educación infantil en el riesgo de inundaciones 'Venero Claro-Agua' (Ávila). En: López Ortiz, M.I. y Melgarejo Moreno, J. (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*. 1191-1200. Editorial Universitat d'Alacant, Alacant, 1329 pp. ISBN: 978-84-1302-091-4.
- [72] Díez Herrero, A.; Hernández Ruiz, M.; Díez Marcelo, P.; Carrera Torres, C. (2020): Programa de educación infantil en el riesgo de inundaciones 'Venero Claro-Agua' (Ávila). En: López Ortiz, M.I. y Melgarejo Moreno, J. (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*. 1191-1200. Editorial Universitat d'Alacant, Alacant, 1329 pp.
- [73] Díez-Herrero, A. (2019). Patrimonio e inundaciones ¿una relación de riesgo? En: Agromayor, E. et al. (Ed.), *Congreso Internacional "Patrimonio cultural y catástrofes: Lorca como referencia"*, 2. Actuaciones en catástrofes, Ponencias, pp. 99-113. Instituto del Patrimonio Cultural de España, Secretaría General Técnica, Ministerio de Cultura y Deporte, Madrid, 421 pp.
- [74] Díez-Herrero, A. (2021, en prensa). La dendrogeomorfología como fuente de datos de la frecuencia y magnitud de caudales históricos. En: Jiménez, A. (Ed.), *Paleocrecidas y*

- avenidas históricas y su aplicación a la seguridad hidrológica de las presas*. Monografías CEDEX, Madrid.
- [75] Díez-Herrero, A.; Carrera, C.; Hernández-Ruiz, M.; Bodoque, J.M. (2018): Improving children's resilience to flood risk through nonformal education in summer camp activities: six years of experience in Venero Claro (Spain). In: AMÉRIGO, M.; GARCÍA, J.A.; GASPAR, R. & LUÍS, S. (Eds.), Proceedings of the SRA-E-Iberian Chapter (SRA-E-I) Conference. "Interdisciplinarity in practice and in research on society and the environment: Joint paths towards risk analysis", pp. 58-59. Edita: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Colección Jornadas y Congresos nº 20. Toledo. D.O.I.: http://doi.org/10.18239/jor_20.2019.01 (edición electrónica).
- [76] Díez-Herrero, A.; Lain-Huerta, L. & Llorente-Isidro, M. (2009): *A Handbook on Flood Hazard Mapping Methodologies*. Publications of the Geological Survey of Spain (IGME), Series Geological Hazards /Geotechnics No. 2, 190 pp., Madrid. DOI: 10.5281/zenodo.4309882
- [77] Díez-Herrero, A.; Lain-Huerta, L. y Llorente-Isidro, M. (2008): *Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Riesgos Geológicos/Geotecnia nº 1, 190 págs., Madrid. DOI: 10.5281/zenodo.4309868
- [78] Díez-Herrero, A.; Martín Duque, J.F. y Vicente Rodado, F. (2008): Propuesta de actividad didáctica de campo sobre riesgos geológicos en la zona centro de la península Ibérica. En: A. Calonge, L. Rebollo, M.D. López-Carrillo, A. Rodrigo E I. Rábano (Eds.), Actas del XV Simposio sobre Enseñanza de la Geología. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Cuadernos del Museo Geominero, nº 11, 109-118.
- [79] Diputación Foral de Gipuzkoa (2019). Herramienta para la Valoración e Integración de los efectos del Cambio Climático en el Planeamiento Urbanístico de Gipuzkoa. Manual de uso de la Herramienta. Diputación Foral de Gipuzkoa, IDOM, 43 pp.
- [80] Dirección General de Carreteras, «Máximas lluvias diarias en la España Peninsular,» 1999.
- [81] DMA (2000): Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- [82] Dufour, S., & Piégay, H. (2009). "From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: Forget natural references and focus on human benefits". *River Research and Applications*, 25(5), 568-581.
- [83] Duque, C., M. L. Calvache, A. Pedrera, W. Martín-Rosales, M. Lopez-Chicano (2008). Combined time domain electromagnetic soundings and gravimetry to determine

- marine intrusion in a detrital coastal aquifer (Southern Spain), *J. Hydrol.*, 349(3), 536–547.
- [84] Duque, C., M. L. Calvache, P. Engesgaard (2010). Investigating river-aquifer relations using water temperature in an anthropized environment (Motril-Salobreña aquifer), *J. Hydrol.*, 381(1), 121–133.
- [85] Durham, E., et al. (2014). The BiodivERsA stakeholder engagement Handbook (BiodivERsA (ed.); BiodivERsA). BiodivERsA.
- [86] E. Aroca-Jiménez, J. M. Bodoque, and J. A. García, "How to construct and validate an Integrated Socio-Economic Vulnerability Index: Implementation at regional scale in urban areas prone to flash flooding," *Sci. Total Environ.*, vol. 746, 2020.
- [87] E. Tate, "Uncertainty Analysis for a Social Vulnerability Index," *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, vol. 103, no. 3, pp. 526–543, 2013.
- [88] EC. (2013). Green Infrastructure (GI)-Enhancing Europe's Natural Capital. EC (European Commission). The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 6.5.2013COM(2013) 249 Final.
- [89] Egoki (2018). Adaptación al Cambio Climático de las Entidades Locales desde el Planeamiento Urbanístico. Guía metodológica para municipios navarros. Propuesta de Instrucciones Técnicas de Planeamiento. Comunidad Foral de Navarra.
- [90] El Banna, M. M., O. E. Frihy (2009). Human-induced changes in the geomorphology of the northeastern coast of the Nile delta, Egypt, *Geomorphology*, 107(1), 72–78.
- [91] Elorrieta Sanz, B.; Olcina Cantos, J.; Sánchez Aguilera, M^a D. (2016): "La sostenibilidad en la planificación territorial de escala regional en España: estudio de casos", *Cuadernos Geográficos*. nº 55 (1), 149-175.
- [92] Elorrieta, B. & Olcina, J. (2020): Infraestructura verde y ordenación del territorio en España. Ciudad y Territorio. (en prensa).
- [93] Elorrieta, B; Olcina, J.; Sánchez, D. (2016). La sostenibilidad en la planificación territorial de escala regional. *Cuadernos Geográficos* 55 (1), 149-175.
- [94] England, J.F. Jr, Cohn, T.A. Faber, B.A., Stedinger, J.A., Thomas, W.O. Jr., Veilleux, A.G., Kiang, J.E. and Mason, R.R. Jr. (2018): Guidelines for Determining Flood Flow Frequency—*Bulletin 17C* (USGS, 2018).
- [95] ESPON (2021) ESPON-TITAN, Territorial Impacts Of Natural Disasters. Draft Final Report. Accesible en: <https://www.espon.eu/natural-disasters> (consultado en 31/03/2021)
- [96] ESPON (2021) ESPON-TITAN, Territorial Impacts Of Natural Disasters. Scientific Reports. Accesible en: <https://www.espon.eu/natural-disasters> (consultado en 31/03/2021)

- [97] Estévez, R., Prieto, F. y Alfonso, C. (Coords.; 2016). Cambios de ocupación del suelo en la Costa 2016. Informe basado en datos del Corine Land Cover. Observatorio de la Sostenibilidad. 230 pp. Disponible en:
<http://www.datosdelanzarote.com/Uploads/doc/Cambios-de-ocupaci%C3%B3n-del-suelo-en-la-costa-2016-20160819112519134COSTA-16.pdf>
- [98] Estrela, T.; Pérez-Martin, M.A. & Vargas, E. (2012): Impacts of climate change on water resources in Spain, *Hydrological Sciences Journal*, 57:6, 1154-1167, DOI: 10.1080/02626667.2012.702213
- [99] Estrela-Segrelles, C., Pérez-Martín, M. A. (2020): Estrategia de adaptación al cambio climático en la planificación hidrológica a escala de Demarcación. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. XI Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua.
- [100] European Commission (2021). Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Forging a climate-resiliente Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change. Bruselas, 1-22 pp.
- [101] European Environment Agency (2016). Report: Impacts and Vulnerability. Europe, 1-5 pp.
- [102] European Environmental Agency (2017): “Green Infrastructure and Flood Management Promoting cost-efficient flood risk reduction via green infrastructure solutions”. EEA Report No 14. Disponible en:
<https://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-flood-management>
- [103] FEMP (2015). Medidas para la mitigación y la adaptación al cambio climático en el planeamiento urbano. Guía metodológica. Ed. Federación Española de Municipios y Provincias, Madrid, 208 pp.
- [104] Fernandez-Salas, L., F. Lobo, J. Sanz, V. Díaz-del Río, M. Garcia, I. Moreno (2007). Morphometric analysis and genetic implications of pro-deltaic sea-floor undulations in the northern Alboran Sea margin, western Mediterranean Basin, *Mar. Geol.*, 243(1), 31-56.
- [105] Ferrer, F.J. (1993): *Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas*. Monografías, M37. CEDEX, Madrid, 76 pp.
- [106] Ferrer, J. (1992): *Análisis estadístico de caudales de avenida*. Monografías, M26. Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX, MOPT), Madrid, 42 págs.
- [107] Frances, F. (1994): Flood Frequency Analysis with Systematic and Historical or Paleoflood Data based on the Two-Parameter GEV Models. *Water Resources Research*, 6(30), 1653-1664.

- [108] Frank, K. A., et al. (2007). The intersection of global trade, social networks, and fisheries. In W. W. Taylor, M. G. Schecter, & L. G. Wolfson (Eds.), *Globalization: effects on fisheries resources* (pp. 385–423). Cambridge University Press.
- [109] Fuller, W.E. (1914): Flood flows. *Tran. Am. Soc. Civil Eng.*, 77.
- [110] G. Terti, I. Ruin, S. Anquetin, and J. J. Gourley, “Dynamic vulnerability factors for impact-based flash flood prediction,” *Nat. Hazards*, vol. 79, no. 3, pp. 1481–1497, 2015.
- [111] García Pérez, M. y Sanz Larruga, F. J. (2014): “Reflexiones en torno a la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas”, en *La nueva regulación de las costas: Actas del IX Congreso de la Asociación Española de Profesores de Derecho Administrativo*, Santiago de Compostela, Coord. Por J. L. Carro Fernández-Valmayor y otros.
- [112] García, F. (2019). “Planeamiento urbanístico y cambio climático: la infraestructura verde como estrategia de adaptación”. *Cuadernos de investigación urbanística*, 122, Madrid.
- [113] García-Ruiz, J. M. (2010). “The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review”. *Catena*, 81(1), 1-11.
- [114] García-Ruiz, J. M., Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., & Álvarez-Farizo, B. (2020). “Rewilding and restoring cultural landscapes in Mediterranean mountains: Opportunities and challenges”. *Land use Policy*, 99, 104850.
- [115] Garrote, J., Bernal, N., Díez-Herrero, A., Martins, L.R., Bodoque, J.M. (2019) “Civil engineering works versus self-protection measures for the mitigation of floods economic risk. A case study from a new classification criterion for cost-benefit analysis”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101157>
- [116] Garrote, J.; Bernal, N.; Díez-Herrero, A.; Martins, L.; Bodoque, J.M. (2019): Civil Engineering Works versus Self-protection measures for the mitigation of floods economic risk. A case study from a new classification criterion for Cost-Benefit Analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37, 101157.
- [117] Generalitat Valenciana (2020). Plan Vega Baja Renhace. Una estrategia integral para la resiliencia de la comarca de la Vega Baja del Segura, 98 p., Valencia, Dirección General de Análisis y Políticas Públicas. Disponible en: <http://presidencia.gva.es/es/web/vega-renhace> (Última consulta: 24/03/2021).
- [118] Gil-Guirado, S., Pérez, A. & Barriendos, M. (2014) “Increasing vulnerability to flooding in the southern Spanish Mediterranean coast (1960-2013)”, *Hydrological Extreme events in historic and prehistoric times*, Bonn (Alemania). En <http://bit.ly/1tmAbNm>
- [119] Gilmour, J., & Beilin, R. (2007). Stakeholder mapping for effective risk assessment and communication. In Australian Centre of Excellence for Risk Analysis.

- [120] Giorgi, A. 2009. The descriptive phenomenological method in psychology: a modified husserlian approach. Duquesne University Press.
- [121] Gobierno de España (2020). Plan Nacional de Adaptación 2021-2030. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), 244 pp. Accesible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-512163.pdf
- [122] Gómez-Martínez, G., Pérez-Martín, M. A., Estrela-Monreal, T., & del-Amo, P. (2018): North atlantic oscillation as a cause of the hydrological changes in the Mediterranean (Júcar river, Spain). *Water Resources Management*, 32(8), 2717-2734. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1954-0>
- [123] Gooch, G.D., Lillebø, A.I., Stålnacke, P., Alves, F.L., Bielecka, M. y Krysanova, V. (2015). Challenges in the policy – environment – modelling management context. En: Tuchkovenko, Y., Loboda, N., Khokhlov, V. (2015). *The Physio-Geographical Background and Ecology of Tyligulskyi Liman Lagoon. Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies*. London, UK: IWA Publishing: 1-9.
- [124] Granovetter, M. (1973). The Strength of Weak Ties Author (s): Mark S . Granovetter Published by : The University of Chicago Press Stable URL : <http://www.jstor.com/stable/2776392> The Strength of Weak Ties '. *American Journal of Sociology*, 78(6), 1360–1380.
- [125] Guardiola-Albert, C., Garrote-Revilla, J., González-Jiménez, M., and Díez-Herrero, A. (2021): A new methodological proposal for improving flood risk mapping using geostatistical techniques in Central-Western Spain, *EGU General Assembly 2021*, online, 19-30 Apr 2021, EGU21-6269, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-6269>
- [126] Guía técnica para la elaboración de un plan de autoprotección. Dirección General de Protección Civil y Emergencias: <http://www.proteccioncivil.es/documents/20486/156778/Guia+Tecnica+para+la+elaboraci%C3%B3n+de+planes+de+autoproteccion/5baf65b3-a7ee-421b-a431-373a38aac535>
- [127] Gumbel, E.J. (1941): The Return Period of Flood Flows. *The Annals of Mathematical Statistics*, 12 (2), 163-190.
- [128] Hassan, R., Scholes, R. y Ash, N. (Eds; 2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Scenarios*. Millennium Ecosystem Assessment. 596 pp. Disponible en: <https://www.millenniumassessment.org/en/Condition.html#download>
- [129] HEC (2003): *Application of Paleohydrology to Corps Flood Frequency Analysis*. Hydrologic Engineering Centre. US Army Corps of Engineers, April 2003. RD-47, 28 pp.
- [130] Hernández Ruiz, M.; García-Pozuelo Ben, M.; Díez Herrero, A.; Carrera Torres, C. (2020): Mejora de la percepción y conocimiento infantil sobre el riesgo de

- inundaciones: programa 'Venero Claro-Agua' (Ávila). En: López Ortiz, M.I. y Melgarejo Moreno, J. (Eds.), Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes. 1201-1210. Libro de Actas del Congreso Nacional de Inundaciones, Orihuela 10 y 11 de septiembre de 2020. Editorial Universitat d'Alacant, Alacant, 1329 pp.
- [131] Hernández, M. H., Saurí, D., & Moroto, Á F. (2020). "La gestión de las aguas pluviales en áreas urbanas: De riesgo a recurso. En: López y Melgarejo (eds.): Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes", 531-548. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/109017>
- [132] Hernández, M., & Morales, A. (2013). "Los aprovechamientos tradicionales de las aguas de turbias en los piedemontes del sureste de la península ibérica: Estado actual en tierras alicantinas". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (63), 105-124.
- [133] Hernández-Ruiz, M.; García-Pozuelo, M.; Díez-Herrero, A.; Poggio, L.; Pérez-López, R.; Amérigo, M.; Bodoque, J.M. (2018): Assessing flood risk perception for the education of risk activities at the Venero Claro children's camp (Central Spain). In: AMÉRIGO, M.; GARCÍA, J.A.; GASPAR, R. & LUÍS, S. (Eds.), Proceedings of the SRA-E-Iberian Chapter (SRA-E-I) Conference. "Interdisciplinarity in practice and in research on society and the environment: Joint paths towards risk analysis", pp. 56-57. Edita: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Colección Jornadas y Congresos nº 20. Toledo. D.O.I.: http://doi.org/10.18239/jor_20.2019.01 (edición electrónica).
- [134] Herrero, J., Millares, A., Aguilar, C., Eguèn, M., Losada, M. A. y Polo, M. J. 2014. Coupling spatial and time scales in the hydrological modelling of Mediterranean regions: WiMMed. 11th International Conference on Hydroinformatics. CUNY Academic Works.
- [135] Hoffmann, G. (1987), Holozanstratigraphie und Küstenlinienverlagerung an der andalusischen Mittelmeerküste, PhD thesis, Univ. Bremen, Germany.
- [136] Hoffmann, T. 2015. Sediment residence time and connectivity in non-equilibrium and transient geomorphic systems. *Earth-science reviews* 150.
- [137] Ibisate, A., Ollero, A., Ballarín, D., Horacio, J., Mora, D., Mesanza, A., Ferrer-Boix, C.; Acín, V., Granado, D.; Martín-Vide, J. P. (2016). "Geomorphic monitoring and response to two dam removals: Rivers Urumea and Leizaran (Basque Country, Spain)". *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(15), 2239-2255.
- [138] Ihobe (2012). Manual de Planeamiento Urbanístico de Euskadi para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Bilbao.

- [139] Imaizumi, F., & Sidle, R. C. (2007). Linkage of sediment supply and transport processes in Miyagawa dam catchment, Japan. *Journal of Geophysical Research - Earth Surface*, 112(F3), 601.
- [140] Impacto del cambio climático en el litoral. Bardají, T., y otros. 2, s.l.: Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2009, Vol. 17, págs. 141-154.
- [141] IPCC (2019). Glosario de términos, Working Group II
- [142] IPCC. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: IPCC, 2014. pág. 157.
- [143] J. Birkmann, *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*. United Nations University Press, 2013.
- [144] J. M. Diaz-Sarachaga and D. Jato-Espino, "Analysis of vulnerability assessment frameworks and methodologies in urban areas," *Natural Hazards*. 2019.
- [145] Jabaloy-Sánchez, A., F. J. Lobo, A. Azor, P. Bárcenas, L. M. Fernández-Salas, V. D. Del Río, and J. V. Perez-Peña (2010), Human-driven coastline changes in the Adra River deltaic system, southeast Spain, *Geomorphology*, 119(1), 9–22.
- [146] Jabaloy-Sanchez, A., F. J. Lobo, A. Azor, W. Martín-Rosales, J. V. Perez-Peña, P. Barcenas, J. Macias, L. M. Fernandez-Salas, M. Vazquez-Vilchez (2014), Six thousand years of coastline evolution in the Guadalfeo deltaic system (southern Iberian Peninsula), *Geomorphology*, 206, 374–391.
- [147] Jiménez Álvarez, A., García Montañés, C., Mediero Orduña, L., Incio Caballero, L., Garrote Revilla, J. (2013). *Bases metodológicas del mapa de caudales máximos de las cuencas intercomunitarias*. Monografías CEDEX, M-120, Madrid, 100 pp.
- [148] Kay, R. y Alder, J. (2005). *Coastal Planning and management*. CRC Press. 400 pp.
- [149] Knighton, J. O., et al. (2018). Challenges to implementing bottom-up flood risk decision analysis frameworks: How strong are social networks of flooding professionals? *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 5657–5673.
- [150] Kondolf, G. M., Podolak, K., & Grantham, T. E. (2013). "Restoring mediterranean-climate rivers2. *Hydrobiologia*, 719(1), 527-545.
- [151] Kondolf, G., Z. Rubin, J. Minear (2014). Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation, *Water Resour. Res.*, 50, 5158–5169, doi:10.1002/2013WR014651.
- [152] L. A. Bakkensen, C. Fox-Lent, L. K. Read, and I. Linkov, "Validating Resilience and Vulnerability Indices in the Context of Natural Disasters," *Risk Anal.*, vol. 37, no. 5, pp. 982–1004, 2017.
- [153] Laín Huerta, L.; Díez-Herrero, A.; y Llorente Isidro, M. (Dtors.)(2009): Piqueto y las Avenidas Torrenciales. Videgrabación de 20'31" de duración, en idioma castellano, formato PAL 4:3, DVD. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

- [154] Lana-Renault N, Latron J, Regués D. 2007. Streamflow response and water-table dynamics in a sub-Mediterranean research catchment (Central Pyrenees). *Journal of Hydrology* 347(3-4): 497-507.
- [155] Lana-Renault N, Regués D. (2009). Seasonal patterns of suspended sediment transport in an abandoned farmland catchment in the Central Spanish Pyrenees. *Earth Surface Processes and Landforms* 34:1291-1301.
<https://doi.org/10.1002/esp.1825>
- [156] Langlois JL, Johnson DW, Mehuys GR. 2005. Suspended sediment dynamics associated with snowmelt runoff in a small mountain stream of Lake Tahoe (Nevada). *Hydrological Processes* 19: 3569-3580.
- [157] Lenzi MA, Marchi L. (2000). Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy). *Catena* 39:267-282.
- [158] Lewis, S. E., Bainbridge, Z. T., Kuhnert, P. M., Sherman, B. S., Henderson, B., Dougall, C., Brodie, J. E. 2013. Calculating sediment trapping efficiencies for reservoirs in tropical settings: A case study from the Burdekin Falls Dam, NE Australia. *Water Resources Research*, 49(2), 1017-1029.
- [159] Liqueste, C., P. Arnau, M. Canals, and S. Colas (2005). Mediterranean river systems of Andalusia, southern Spain, and associated deltas: A source to sink approach, *Mar. Geol.*, 222, 471-495.
- [160] Llasat Botija, M.C. (2020). "Inundaciones y cambio climático en el Mediterráneo". En: López y Melgarejo (eds.): "Riesgo De Inundación En España: Análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes", 127-142. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/109017>
- [161] López Bermúdez F., Gomariz-Castillo, F. (2006). Las ramblas, agentes reguladores del litoral mediterráneo ibérico. El ejemplo de la rambla de las Moreras. En Mateu, J.F. y Sanjaume, E. (Eds.) *Geomorfología litoral i quaternari*. Valencia, Universidad de Valencia, pp. 245-257.
- [162] López de Castro García-Morato, L. (2011): "La protección civil ante la prevención y gestión de riesgo de inundaciones", en *Protección Civil y emergencias: régimen jurídico*, A. Menéndez Rexach (Dir.), La Ley-El Consultor, Madrid, pp. 249-315
- [163] López de Castro García-Morato, L. (2012): "El reglamento estatal de inundaciones y el avance en el enfoque holístico para la gestión de los riesgos naturales", *Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente*, nº 275, pp. 41-88.
- [164] López Ortiz, M^a I.; Melgarejo Moreno, J. (eds.) (2020). *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*. Alacant: Universitat d'Alacant, 1329 p.

- [165] López-Bermúdez, F., Conesa-García, C., & Alonso-Sarria, F. (2002). "Floods: Magnitude and frequency in ephemeral streams of the Spanish Mediterranean region". Bull. Lj, Kirkby, Mj (Eds.), "Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-Arid Channels". Wiley, Chichester, 329-350.
- [166] López-Moreno J.I., Gascoin S, Herrero J, Sproles EA, Pons M, Alonso-González E, Sickman J. 2017. Different sensitivities of snowpacks to warming in Mediterranean climate mountain areas. *Environmental Research Letters* 12(7): 1–10, 074006.
- [167] López-Moreno J.I., Goyette S, Beniston M. 2008. Climate change prediction over complex areas: spatial variability of uncertainties and predictions over the Pyrenees from a set of regional climate models. *International Journal of Climatology* 28: 1535–1550.
- [168] M. M. N. de Andrade and C. F. Szlafsztein, "Vulnerability assessment including tangible and intangible components in the index composition: An Amazon case study of flooding and flash flooding," *Sci. Total Environ.*, 2018.
- [169] M. Nardo, M. Saisana, A. Saltelli, S. Tarantola, A. Hoffman, and E. Giovannini, *Handbook on constructing composite indicators*, No. 2005/0. OECD Publishing, 2008.
- [170] Mancebo, C. (2014): *Análisis del cumplimiento de obligación del Mapa de Riesgos Naturales en la Ley 8/2007, del Suelo*, Ilustre Colegio de Geólogos. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 77 p..
- [171] Mano V, Nemery J, Belleudy P, Poirel A. (2009). Assessment of suspended sediment transport in four alpine watersheds (France): influence of the climatic regime. *Hydrological Processes* 23: 777–792.
- [172] MAPAMA (2016). "Estrategia de Adaptación al Cambio Climático en la Costa Española". Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategia-adaptacion-cambio-climatico/default.aspx>
- [173] Marco, J. A., Giménez-Font, P., Padilla, A. P., García, E., & Prieto, A. (2020). "La rambla de Abanilla-Benferri como paradigma para el estudio del conocimiento tradicional relativo al aprovechamiento de las aguas de avenida". En: López y Melgarejo (eds.): "Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes", 881-896. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/109017>
- [174] Marti, O., Braconnot, P., Dufresne, J.L., Bellier, J., Benschila, R., Bony, S., Talandier, C. 2010. Key features of the IPSL ocean atmosphere model and its sensitivity to atmospheric resolution. *Climate Dynamics*, 34(1), 1-26.
- [175] Martínez-Fernández, J., Sánchez, N. (2013). Recent trends in rivers with near-natural flow regime: The case of the river headwaters in Spain. *Progress in Physical Geography* 37(5) 685–700.

- [176] Martínez-Saura, C.M., (2018). Wetland conservation and governance. The Mar Menor Case. Networking with Albania, UK and France. Sustainable development in protected areas, contribution to a resource-efficient, green and competitive low-carbon economy. Technical Report. Europarc Federation y Alfred Toepfel Scholarship. 78 pp. Disponible en: http://www.europarc.org/wp-content/uploads/2019/06/ATS-2017_Sustainable-development-in-protected-areas_Carmen-Martinez-.pdf
- [177] MedECC, 2019. Risks associated to climate and environmental changes in the mediterranean region: a preliminary assessment by the MedECC Network Science-policy interface – 2019.
- [178] Millares A, Moñino A. 2018. Sediment yield and transport process assessment from reservoir monitoring in a semi-arid mountainous river. *Hydrological Processes* 32: 2990–3005.
- [179] Millares A, Polo M, Moñino A, Herrero J, Losada M. 2014a. Bedload dynamics and associated snowmelt influence in mountainous and semiarid alluvial rivers. *Geomorphology* 206: 330–342.
- [180] Millares, A., Díez-Minguito, M. y Moñino, A. 2019. Evaluating gully effects on modeling erosive responses at basin scale. *Environmental Modelling & Software* 111, 61-71
- [181] Millares, A., M. Polo, A. Moñino, J. Herrero, M. Losada (2014b). Reservoir sedimentation and erosion processes in a snow-influenced basin, in Southern Spain, in *Reservoir Sedimentation—Special Session on Reservoir Sedimentation of the 7th International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow*, pp. 91–98, Taylor and Francis Group, London, U.K.
- [182] Millares, A., M. Polo, A. Moñino, J. Herrero, y M. Losada (2014a). Bedload dynamics and associated snowmelt influence in mountainous and semiarid alluvial rivers, *Geomorphology*, 206, 330–342.
- [183] Millares, A., Moñino, A. (2018). Sediment yield and transport process assessment from reservoir monitoring in a semi-arid mountainous river. *Hydrological Processes*, 32(19), 2990-3005.
- [184] Millares, A., Moñino, A. 2020. Hydro-meteorological drivers influencing suspended sediment transport and yield in a semi-arid mountainous basin. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(15), 3791-3807.
- [185] Ministerio de Vivienda y Colegio Oficial de Geólogos (2008): *Riesgos Naturales. Guía Metodológica para la elaboración de cartografías en España*. Madrid, 176 p.
- [186] Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (2018). *Inundaciones y cambio climático*, Madrid, 105 pp.

- [187] Ministerio para la Transición Ecológica, «incorporación del cambio climático en la evaluación preliminar del riesgo de inundación (epri) en el segundo ciclo de aplicación de la directiva de inundaciones (2007/60/CE),» 2018.
- [188] Ministerio para la Transición Ecológica, Inundaciones y cambio climático, 2018.
- [189] Ministry of Water Resources of the People's Republic of China (2006): *Regulation for Calculating Design Flood of Water Resources and Hydropower Projects*, SL44-2006, China Water & Power Press.
- [190] MITECO (2013). Real Decreto 478/2013, de 21 de junio, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero. BOE 149, de 22 de junio de 2013, páginas 46840 a 47010 (171 págs.). Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, anteriormente Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Permalink ELI: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/06/21/478>
- [191] MITECO (2018). Inundaciones y Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica. https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/libro-cambio-climatico-inundaciones-web-06092019_tcm30-499367.pdf
- [192] MITECO (2019). "Protocolos de caracterización y para el cálculo de métricas de los indicadores hidromorfológicos de las masas de agua categoría río. Ministerio para la Transición Ecológica". Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/calculo-metricas-hmf-abril-2019_tcm30-496597.pdf
- [193] MITECO (2019). Protocolo de caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos. *Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, anteriormente Ministerio para la Transición Ecológica*. Último acceso 17/12/2020: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/protocolo-caracterizacion-hmf-abril-2019_tcm30-496596.pdf
- [194] MITECO (2020). "Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030". Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-512163.pdf
- [195] MITECO, 2018. Inundaciones y cambio climático. Ministerio para la Transición Ecológica.
- [196] MITECO. Informe de elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático. s.l.: IHC, 2019.
- [197] MITERD (2021) Plan para la Protección del Delta del Ebro. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

- [198] Molina Giménez, A. (2010): "La disciplina territorial del riesgo de inundaciones en el ordenamiento jurídico español", *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, nº 18, pp. 39-72.
- [199] Molinet Coll, V. (2007). Restauración del Delta del Ebro I. Recuperación de la configuración del Delta del Ebro. Universidad Politécnica de Cataluña.
- [200] Moñino, A., Millares, A., Herrero, J., Polo, M. J., Losada, M. A. 2011. Measurement of infilling rate in a small reservoir in a Mediterranean semi-arid area. In *Geophys. Res. Abstr* (Vol. 13).
- [201] Morgan, R., Quinton, J. N., Smith, R., Govers, G., Poesen, J., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D. y Styczen, M. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group* 23.6, 527-544
- [202] Morote-Seguido, A.F., Olcina Cantos, J., & Hernández Hernández, M. (2017). La adaptación al cambio climático en la ciudad de Alicante. Medidas adoptadas desde la gestión de los recursos hídricos. En: *Naturaleza, territorio y ciudad en un mundo Global*. Actas del XXV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles. Madrid, del 25 al 27 de octubre de 2017. Asociación Española de Geografía (AGE), Universidad Autónoma de Madrid y Universidad de Alicante, 729-738 pp. Doi: <https://doi.org/10.15366/ntc.2017>
- [203] Munné, A.; Prat, N.; Solá, C.; Bonada, N. & Rieradevall, M. (2003). A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13: 147-163.
- [204] Munné, A.; Solà, C. & Prat, N. (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua*, 175: 20-37.
- [205] Muñoz Guayanay, J.F.; Guardiola Albert, C.; Díez Herrero, A. (2020): Estimación geoestadística de caudales máximos de avenida en el tramo Toro-Zamora: posible incidencia de la sinuosidad del río Duero en la laminación de las puntas de crecida. En: López Ortiz, M.I. y Melgarejo Moreno, J. (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*. 367-376. Editorial Universitat d'Alacant, Alacant, 1329 pp.
- [206] Nadal-Romero, E., Lasanta, T. y García-Ruiz, J. M. 2013. Runoff and sediment yield from land under various uses in a Mediterranean mountain area: long-term results from an experimental station. *Earth Surface Processes and Landforms* 38.4, 346-355
- [207] Nathan, R. & Weinmann, E. (2019): *The Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation* (eds Ball, J. et al.) Book 8, Commonwealth of Australia.

- [208] Navarro Ortega, A. (2012): “La protección del medio ambiente marino y costero y la política ambiental comunitaria y la lucha contra el cambio climático”, en Derecho, Globalización, Riesgo y Medio Ambiente, (Eds.) Pérez Alonso, E. y otros, Tirant lo Blanch, Valencia, pp. 219-247
- [209] Navarro Ortega, A. (2014): El régimen jurídico de las aguas de transición: un punto de encuentro entre la legislación de aguas y la de costas, tesis doctoral inédita, Facultad de Derecho de la Universidad de Granada.
- [210] Navarro Rodríguez, P. (2008): “la protección del litoral español frente al cambio climático. Coordinación y colaboración para una gestión integrada de las zonas costeras”, en La protección del patrimonio litoral, Coord. Pérez Gálvez, y Alenza García, J. F. Universidad Externado de Colombia, Bogotá, pp. 791-854
- [211] Navarro Rodríguez, P. y Montes Worbys, F. (2012): “Protección del litoral y lucha contra el cambio climático en Andalucía a la luz del proyecto de modificación de la Ley de Costas”, en Revista Andaluza de Administración Pública, nº 84, pp. 135-176
- [212] Nearing, M. A., Foster, G., Lane, L. y Finkner, S. 1989. A process-based soil erosion model for USDA Water Erosion Prediction Project technology. Transactions of the ASAE 32.5, 1587-1593
- [213] Nesshöver, C., et al. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. Science of the Total Environment, 579, 1215–1227.
- [214] Núñez Lozano, M. C. (2016): “El dominio público marítimo-terrestre en situación de regresión grave”, en Estudios Jurídicos sobre el Litoral, (Dir.) Núñez Lozano, M. C., Tirant lo Blanch, Valencia, pp. 451-480
- [215] O. D. Cardona *et al.*, “Determinants of risk: exposure and vulnerability,” 2012.
- [216] Olcina Cantos, J. (2008): “Cambios en la consideración territorial, conceptual y de método de los riesgos naturales”, *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. XII, núm. 270 (24). Disponible en: <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-270/sn-270-24.htm>
- [217] Olcina Cantos, J. (2018): “¿Es la ordenación del territorio una medida eficaz contra el riesgo de inundaciones en España?”, en *Riesgos naturales y Derecho: una perspectiva interdisciplinaria* (Arana García, E., dir.), Editorial Dykinson, Madrid, p. 63-82.
- [218] Olcina Cantos, J. (2020). “Clima, cambio climático y riesgos climáticos en el litoral mediterráneo. Oportunidades para la geografía”, *Documents de Anàlisi Geogràfica*, 66/1, 159-182.
- [219] Olcina Cantos, J. y Díez-Herrero, A. (2017): “Cartografía de inundaciones en España”, *Estudios Geográficos*, vol. 78, nº 282, 283-315.
- [220] Olcina, J. (2020). “Ordenación del territorio para la gestión del riesgo de inundaciones”: Propuestas. En: López y Melgarejo (eds.): “Riesgo de inundación en

- España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes”, 501-517.
<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/109017>
- [221] Olcina, J., Saurí, D., Hernández, M., Ribas, A. (2016): “Flood policy in Spain: a review for the period 1983-2013”, *Disaster Prevention and Management: an International Journal*, vol. 25, nº 1, p. 41-58.
- [222] Olivera, F., Maidment, D. 1999. Geographic Information Systems (GIS)-based spatially distributed model for runoff routing. *Water Resources Research* 35.4, 1155-1164
- [223] Ollero, A. (2015): “Un necesario cambio de visión y de estrategia en la gestión de las inundaciones”, *Tecnoaqua*, nº 12, 122-124.
- [224] Ollero, A. (2020). “Crecidas, inundaciones y resiliencia: Restauración fluvial contra los falsos mitos”. En: López y Melgarejo (eds.): “Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes”, 549-568.
<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/109017>
- [225] Ollero, A.; Ibisate, A.; Horacio, J.; Conesa, C.; Álvarez, Y.; Segura, F.; Sanchis, C.; Ballarín, D.; Calle, M.; Sánchez, M. (2019): “Diagnóstico y posibilidades de restauración en cursos de agua efímeros mediterráneos”. *Restauraríos 2019, CIREF*, 481-487.
- [226] Ollesch G, Kistner I, Meissner R, Lindenschmidt KE. 2006. Modelling of snowmelt erosion and sediment yield in a small low-mountain catchment in Germany. *Catena* 68: 161–176
- [227] Owens, P. 2005. Conceptual models and budgets for sediment management at the river basin scale. *Journal of soils and sediments* 5.4, 201-212
- [228] Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P. et al. 2014. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC
- [229] Palencia, S. (2016). Ordenación del territorio e inundabilidad. El caso de la cuenca del Río Girona en la provincia de Alicante. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/61991?show=full>
- [230] Penas Mazaira, J., Berga Casafont, L., De Andrés Rodríguez-Trelles, M, Sánchez-Palomo García, I., Ardiles López, L. y Yagüe Córdova, J. (2001): *Guía para la elaboración de los planes de emergencia de presas*. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 164 pp.
- [231] Pérez Gálvez, J. F.: *El nuevo Derecho de Costas. Ley y nuevo Reglamento de Costas*, Bosch, Barcelona, 2014.
- [232] Pérez Morales, A., Gil-Guirado, S. and Olcina-Cantos, J. (2015): "Housing bubbles and the increase of flood exposure. Failures in flood risk management on the Spanish

- south-eastern coast (1975-2013), *Journal of Flood Risk Management* (DOI: 10.1111/jfr3.12207, 1-12.
- [233] Pérez-Morales, A., Gil-Guirado, S. y Olcina, J. (2016): "La información catastral como herramienta para el análisis de la exposición al peligro de inundaciones en el litoral mediterráneo español". *Revista de Estudios Urbanos y Regionales (EURE)*, Vol. 42, 127, 231- 256.
- [234] Perles Roselló, M^a J.; Olcina Cantos, J. y Mérida Rodríguez, M. (2018): "Balance de las políticas de gestión del riesgo de inundaciones en España: de las acciones estructurales a la ordenación territorial", *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. Madrid, p. 417-438.
- [235] Planes de gestión del riesgo de inundación. MITERD: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/planes-gestion-riesgos-inundacion/default.aspx>
- [236] Poesen JW, Hooke JM. (1997). Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography* 21(2): 157–199.
- [237] Pons Cánovas, F. (2015): El nuevo régimen jurídico de las costas ¿contribuirá de forma eficaz a la protección y al uso sostenible del litoral?, Thomson-Reuters, Aranzadi, Cizur Menor
- [238] Pons Cánovas, F. (2019): "Resiliencia de la costa a los impactos del cambio climático después de la reforma de la normativa costera", en *Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente*, nº 312 (2019), pp. 125-182
- [239] Powell, D. M. 2009. Dryland rivers: Processes and forms. In A. J. Parsons, A. D. Abrahams (Eds.), *Geomorphology of desert environments* (pp. 333–373). Netherlands: Springer.
- [240] Pulido-Velazquez, D., Collados-Lara, A. J. and Alcalá, F. J. (2018). Assessing impacts of future potential climate change scenarios on aquifer recharge in continental Spain. *Journal of Hydrology*, 567, 803–819. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.077>
- [241] Rainato R, Picco L, Cavalli M, Mao L, Neverman AJ, Tarolli P. 2018. Coupling climate conditions, sediment sources and sediment transport in an alpine basin. *Land Degradation & Development* 29(4): 1154–1166
- [242] RECC (2008). *Estrategia Local de Cambio Climático*. Red Española de Ciudades por el Clima, Madrid, 670 pp.
- [243] Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Porter JP. 1991. RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 46: 30–33.

- [244] Ribas, A.; Saurí, D. (2006): "De la geografía de los riesgos a las geografías de la vulnerabilidad", en Nogué, J.; Romero, J. (eds.), *Las otras geografías*, València, Tirant lo Blanc, pp. 285-300.
- [245] Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussetini, M. 2013. "A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI)". *Geomorphology*, 180-181: 96-108.
- [246] Rinaldi, M.; Surian, N.; Comiti F.; Bussetini, M.; Lastoria B.; Nardi, L. 2016. IDRAIM. Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.
- [247] Rivadeneira Vera, J. F., Zambrano Mera, Y. E., & Pérez-Martín, M. Á. (2020): Adapting water resources systems to climate change in tropical areas: Ecuadorian coast. *Science of The Total Environment*, 703, 135554. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135554>
- [248] Roberts, D., O'Donoghue, S. (2013). "Urban environmental challenges and climate change action in Durban, South Africa", *Environment and Urbanization*, 25 (2): 299-319.
- [249] Rodero, J., M. J. Polo, M. A. Losada (2005), Estudio Piloto para la Gestión Integrada de la Cuenca Hidrográfica del Río Guadalfeo, Universidad de Granada.
- [250] Romero-Díaz, A., Ruiz-Sinoga, J. D., Robledano-Aymerich, F., Brevik, E. C., & Cerda, A. (2017). "Ecosystem responses to land abandonment in western mediterranean mountains". *Catena*, 149, 824-835.
- [251] Rosenzweig, C., Solecki, W, Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., Ali Ibrahim, S. (Eds.) (2018). *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge: Cambridge University Press, 811 pp.
- [252] Rosenzweig, C., Solecki, W. (2014). "Hurricane Sandy and adaptation pathways in New York: Lessons from a first-responder city", *Global Environmental Change*, 28: 395-408.
- [253] Ruiz-Villanueva, V., Bodoque, J.M., Díez-Herrero, A., Eguibar, M.A. Pardo-Igúzquiza, E. (2013): Reconstruction of a flash flood with large wood transport and its influence on hazard patterns in an ungauged mountain basin. *Hydrological Processes*, 27, 3424–3437.
- [254] Sabatier, F., O. Samat, A. Ullmann, S. Suanez (2009). Connecting large-scale coastal behaviour with coastal management of the Rhône delta, *Geomorphology*, 107(1), 79–89.
- [255] Sánchez, F.J. y Lastra, J. (Coords.) (2011): *Guía metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid, 349 pp.

- [256] Sánchez-Balibrea, J., López-Barquero, P., García-Moreno, P., Martínez-Saura, C., Luengo-Sánchez, P. Sixto, A., Cabezas, J.D. Carrillo, F. (2016). Restauración de espacios dunares y litorales en el entorno del Mar Menor (SE Ibérico). En: Belmonte-Serrato, F., Ballesteros-Pelegrín G.A., Sánchez-Balibrea J.M. e Ibarra-Marinas, A.D, (eds.). Cuestiones sobre paisaje, patrimonio natural y medio ambiente en el sureste ibérico. ANSE y Editum. 262 pp. Murcia. España. Disponible en: <http://libros.um.es/editum/catalog/view/1741/2421/2191-3>
- [257] Sánchez-Balibrea, J.M., Wozniak, I., Sixto, A., López Barquero, P., Martínez Saura, C., Fernández, L. E., Rubio, I. (2013): "Evolución Histórica e Inventario de los arenales de la Manga del Mar Menor" Comunicación Póster. VI Congreso de la SEBICOP. Disponible en: <https://www.asociacionanse.org/wp-content/uploads/2013/10/PosterLaMangadef.pdf>
- [258] Sanchis Ibor, C.; Segura Beltran, F. (2020): "Procesos de colonización vegetal en ramblas: crecimiento y destrucción de parches y alineaciones". En: Farinós i Dasí (dir.): "Desafíos y oportunidades de un mundo en transición: Una interpretación desde la Geografía", Publicaciones de la Universitat de València, 161-172.
- [259] Sanchis-Ibor, C., Segura-Beltrán, F., & Almonacid-Caballer, J. (2017). "Channel forms recovery in an ephemeral river after gravel mining (Palancia river, Eastern Spain)". *Catena*, 158, 357-370.
- [260] Sanchis-Ibor, C., Segura-Beltrán, F., & Navarro-Gómez, A. (2019). "Channel forms and vegetation adjustment to damming in a Mediterranean gravel-bed river (Serpis River, Spain)". *River Research and Applications*, 35(1), 37-47.
- [261] Sandström, A. (2008). Policy networks: The Relation between Structure and Performance. In Doctoral Thesis. Luleå University of Technology.
- [262] Sandy coastlines under threat of erosion. Vousdoukas, M. I., y otros. 3, s.l.: Nature climate change, 2020, Vol. 10, págs. 260-263.
- [263] Santamaría, J. (Dtor., 1999): *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*. Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes, Dirección General de Carreteras, Madrid, 55 pp.
- [264] Santi, P., Hewitt, K., VanDine, D. y Cruz, E. B. 2011. Debris-flow impact, vulnerability, and response. *Natural Hazards* 56.1, 371-402.
- [265] Sanz Larruga, F. J. (2020): "Ordenación del litoral y adaptación al cambio climático. ¿Es suficiente la respuesta jurídica del Estado español?", Libro de Actas Congreso Homenaje a Ramón Martín Mateo, VIII Congreso Nacional de Derecho Ambiental (Vulnerabilidad Ambiental), Sevilla, 10 y 11 de octubre de 2019, Soro Mateo, B., Jordano Fraga, J. Alenza García J.F. y Pérez de Andrés, Ciemat-Cieda, Madrid, pp. 58-88

- [266] Sanz Larruga, F.J. (2018): "Cambio climático y zonas costeras: aproximación a su ordenación jurídica y el papel de las Administraciones locales", en Políticas Locales de Clima y Energía: Teoría y Práctica, (Dir. S. Galera Rodrigo y M. Gómez Zamora), Instituto Nacional de Administración Pública, Madrid, pp. 614-637
- [267] Sanz, M.J. y Galán, E. (2020). Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- [268] Saurí, D., Serra A., Olcina, J. & Vera, J.F. (2011): Climate change and Europe's regions: Key findings. Case study Spanish Mediterranean coast. En S. Greiving (Coord.) *Espan Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies* (pp. 30-39).
- [269] Scheffers, M. (2003). Report of the Workshop on the Planning and Management of Modified Mega Deltas. Coastal Zone Management Centre, RIKZ
- [270] Segovia-Cardozo, D.A.; Rodríguez-Sinobas, L.; Zubelzu, S. & Díez-Herrero, A. (2019): Development and programming of low-cost sensors for hydro-meteorological monitoring in small basins. HydroSenSoft, International Symposium and Exhibition on Hydro-Environment Sensors and Software. 26 Feb – 1 Mar 2019, Madrid, Spain. IAHR. Pp. 26-32.
- [271] Segura Beltran, F. (2014): "Sobre la restauració fluvial i la complexitat dels rius efímers: algunes consideracions crítiques". *Cuadernos de Geografía*, 95/96, 101-147
- [272] Segura-Beltran F, Sanchis-Ibor, C. (2018). "Estrechamiento de cauces y cambio de patrón en cursos fluviales mediterráneos como consecuencia del cambio global en las últimas décadas: indicadores geomorfológicos". In: C. Garcia, C. Gómez-Pujol, E. Morán-Tejeda, R.J. Batalla (eds): *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos*. Universitat de les Illes Balears: 393-397.
- [273] Segura-Beltran, F. (2004). "Cambios hidrológicos en las ramblas y barrancos del golfo de valencia a lo largo del siglo XX. Alteración de los regímenes fluviales peninsulares". *Fundación Caja Murcia, Murcia*, 349-389.
- [274] Segura-Beltran, F. S. (2017). "Canvis ambientals i antròpics recents en els sistemes fluvials mediterranis: Crònica d'una destrucció anunciada". IEC, 36 pp.
- [275] Segura-Beltran, F., & Sanchis-Ibor, C. (2013). "Assessment of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream since the early twentieth century. The Rambla de Cervera, Eastern Spain". *Geomorphology*, 201, 199-214.
- [276] Segura-Beltran, F., & Sanchis-Ibor, C. (2015). "Restauración geomorfológica, cambios ambientales, imagen de referencia e imagen objetivo en ríos efímeros: Reflexiones críticas". *Actas del II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial*, pp. 431-428.
- [277] Segura-Beltran, F; Sanchis-Ibor, C.; Vidal Salvador, A. (2020): "La incisión como efecto de los cambios ambientales en ríos efímeros". En: Farinós i Dasí (dir.): "Desafíos y

- oportunidades de un mundo en transición: Una interpretación desde la Geografía”, Publicaciones de la Universitat de València, pp. 145-160.
- [278] Serra-Llobet, A., et al. (2016). Governing for integrated water and flood risk management: Comparing top-down and bottom-up approaches in Spain and California. *Water (Switzerland)*, 8(10).
- [279] Shi, L., Chu, E., Debats, J. (2015). “Explaining Progress in Climate Adaptation Planning across 156 U.S. Municipalities”, *Journal of the American Planning Association*, 81 (3): 191-201.
- [280] Simeoni, U., C. Corbau (2009). A review of the Delta Po evolution (Italy) related to climatic changes and human impacts, *Geomorphology*, 107(1), 64–71.
- [281] Simonneaux V, Cheggour A, Deschamps C, Mouillot F, Cerdan O, Le Bissonnais Y. 2015. Land use and change effects on soil erosion in a semi-arid mountainous watershed (High Atlas, Morocco). *Journal of Arid Environments* 122: 64–75
- [282] Skoulikidis, N. T., Sabater, S., Datry, T., Morais, M.M., ... Kalogianni, E. (2017). “Non-perennial mediterranean rivers in europe: Status, pressures, and challenges for research and management”. *Science of the Total Environment*, 577, 1-18.
- [283] St. George, S., Hefner, A.M., Avila, J. (2020): Paleofloods stage a comeback. *Nature Geosciences*, 13, 766–768. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-00664-2>.
- [284] Stein, S., Geller, R.J., Liu, M. (2012): Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it. *Tectonophysics*, 562-563, 1-25.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.06.047>
- [285] Strupczewska, W.G., Kochaneka, K., Bogdanowicz, E. (2017): Historical floods in flood frequency analysis: Is this game worth the candle? *Journal of Hydrology*, 554, 800-816.
- [286] Syvitski, J. P. (2009), Sinking deltas due to human activities, *Nat. Geosci.*, 2(10), 681–686.
- [287] Tamayo Carmona, J. y Núñez Mora, J.A. (2020). “Precipitaciones intensas en la comunidad valenciana. Análisis, sistemas de predicción y perspectivas ante el cambio climático” en *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (coord. por Inmaculada López Ortiz, Joaquín Melgarejo Moreno); Universidad de Alicante, pp. 49-62
- [288] Tanasienko A, Yakutina O, Chumbaev A. 2011. Effect of snow amount on runoff, soil loss and suspended sediment during periods of snowmelt in southern west Siberia. *Catena* 87: 45–51.
- [289] Thoms, M. C. (2003). Floodplain-river ecosystems: Lateral connections and the implications of human interference. *Geomorphology*, 56(3–4), 335–349.
[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(03\)00160-0](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(03)00160-0)

- [290] Torres R, Millares A, Aguilar C, Moñino A, Losada MA, Polo MJ. 2013. Zonal characterization of hillslope erosion processes in a semi-arid high mountain catchment. In EGU General Assembly Conference Abstracts, p. 13894
- [291] Tribunal de Cuentas Europeo, «Directiva sobre inundaciones: se ha avanzado en la evaluación de riesgos, pero es necesario mejorar la planificación y la ejecución,» 2018.
- [292] Trincardi, F., J. P. Syvitski (2005), Advances on our understanding of delta/prodelta environments: A focus on southern European margins, *Mar. Geol.*, 222, 1–5.
- [293] Turnbull, L., Wainwright, J. 2019. From structure to function: Understanding shrub encroachment in drylands using hydrological and sediment connectivity. *Ecological Indicators* 98: 608–618.
- [294] Turowski, J. M., Rickenmann, D., & Dadson, S. J. 2010. The partitioning of the total sediment load of a river into suspended load and bedload: A review of empirical data. *Sedimentology*, 57(4), 1126–1146
- [295] UN. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable. Resolution adopted by the General Assembly. UN (United Nations).
- [296] UNEP (2011). Taking Steps toward Marine and Coastal Ecosystem-Based Management – An Introductory Guide. No. 189. 68 pp. ISBN: 978-92-807-3173-6
- [297] UNISDR, “The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030: the challenge for science,” Geneva, 2015.
- [298] USNWS (1982): Application of Probable Maximum Precipitation Estimates- United States East of the 105th Meridian. U.S. National Weather Service, NOAA *Hydrometeorological Report* No. 52, 168 pp.
- [299] Vallet, A., et al. (2020). Power asymmetries in social networks of ecosystem services governance. *Environmental Science & Policy*, 114(August), 329–340.
- [300] Van Rompaey, A., Bazzoffi, P., Jones, R. J. y Montanarella, L. 2005. Modeling sediment yields in Italian catchments. *Geomorphology* 65.1-2, 157-169
- [301] Van Wesenbeeck, B. K., et al. (2014). Damming deltas: A practice of the past? Towards nature-based flood defenses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140, 1–6.
- [302] Vegas, J. y Díez Herrero, A. (2019): ELIGES. Entornos con Lugares de Interés Geológico para Educación ambiental en Segovia. Colección de 10 folletos-trípticos de tamaño DIN A-4, con dos páginas. Ed. Ayuntamiento de Segovia, Segovia, 20 páginas.
- [303] Vera-Rebollo, J.F.; Olcina Cantos, J. y Sainz-Pardo Trujillo, A. (2019). “La incorporación de la infraestructura verde en la ordenación territorial. El plan de acción territorial de la infraestructura verde del litoral de la Comunidad Valenciana, PATIVEL”, *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, vol. LI, nº 200, 467-490.

- [304] Vera-Rebollo, J.F.; Olcina, J. & Sainz-Pardo, A. (2019): La incorporación de la infraestructura verde en la ordenación territorial. El plan de acción territorial de la infraestructura verde del litoral de la Comunidad Valenciana, PATIVEL. Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales, Vol. LI (200): 467-490.
- [305] Vis, M., Klijn, F., De Bruijn, K. M., Van Buuren, M. (2003). Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands. *International Journal of River Basin Management*, 1(1), 33–40.
- [306] Vörösmarty, C. J., et al. (2018). Ecosystem-based water security and the Sustainable Development Goals (SDGs). *Ecohydrology and Hydrobiology*, 18(4), 317–333.
- [307] Walling, D., D. Fang (2003), Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers, *Global Planet. Change*, 39(1), 111–126.
- [308] Wasserman, S., & Faust, K. (1995). *Social network analysis, methods and applications*. Cambridge University Press.
- [309] Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. 537. Department of Agriculture, Science y Education Administration.
- [310] WMO (1989): Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis. World Meteorological Organization, *Operational Hydrology Report*, nº 33, 73 pp.
- [311] Y. Han *et al.*, "The growth mode of built-up land in floodplains and its impacts on flood vulnerability," *Sci. Total Environ.*, vol. 700, p. 134462, 2020.
- [312] Yagüe Córdova, J., González del Tánago, M., Rodríguez Muñoz, I., Serrano, J., & Segura Graiño, R. (2010). "Bases de la estrategia nacional de restauración de ríos". Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- [313] Yang, Z.-S., H.-J. Wang, Y. Saito, J. Milliman, K. Xu, S. Qiao, G. Shi (2006). Dam impacts on the Changjiang (Yangtze) River sediment discharge to the sea: The past 55 years and after the Three Gorges Dam, *Water Resour. Res.*, 42, W04407
- [314] Zubelzu, S.; Rodriguez-Sinobas, L.; Segovia Cardozo, D.; Díez-Herrero, A. (2020): Optimal locations for flow and velocity sensors along a river channel. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 800-812.

CONAMA

Monte Esquinza 28 - 3ª derecha
28010 Madrid (España)

T +34 91 310 73 50

conama@conama.org
www.conama.org